

**NORMATIV PRIVIND EVALUAREA IN-SITU A REZISTENȚEI
BETONULUI DIN CONSTRUCȚIILE EXISTENTE,
indicativ NP 137 - 2014**

CUPRINS

1. OBIECT ȘI DOMENIU DE APLICARE
2. DOCUMENTE DE REFERINȚĂ
3. TERMENI ȘI DEFINIȚII
4. SIMBOLURI
5. PLANIFICAREA INVESTIGAȚIILOR PRIVIND EVALUAREA REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI
 - 5.1. Considerații generale
 - 5.2. Clasificarea metodelor de încercare
 - 5.3. Selectarea programelor de încercare
 - 5.3.1. Alegerea metodelor de investigare
 - 5.3.2. Considerații privind precizia evaluării rezistenței in-situ
 - 5.3.3. Condiții locale
 - 5.3.4. Alte condiții de selectare
6. REZISTENȚA CARACTERISTICĂ LA COMPRESIUNE IN-SITU ÎN RAPORT CU CLASA DE REZISTENȚĂ LA COMPRESIUNE
7. METODE DE ÎNCERCARE PENTRU EVALUAREA REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI
 - 7.1. Metoda carotelor
 - 7.1.1. Considerații generale
 - 7.1.2. Selectarea zonelor de extragere a carotelor
 - 7.1.3. Precizia încercării și numărul de carote
 - 7.1.3.1. Caracteristicile betonului
 - 7.1.3.2. Variabile de încercare
 - 7.1.3.3. Variabile ale carotelor
 - 7.1.3.4. Numărul de carote
 - 7.1.4. Mărimea carotelor
 - 7.1.5. Pregătirea carotelor înainte de încercare
 - 7.1.6. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune
 - 7.2. Metoda ultrasunetelor
 - 7.2.1. Considerații generale
 - 7.2.2. Domeniu de aplicare
 - 7.2.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări
 - 7.2.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune
 - 7.3. Metoda de duritate superficială
 - 7.3.1. Considerații generale
 - 7.3.2. Domeniu de aplicare
 - 7.3.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări
 - 7.3.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune
 - 7.4. Încercarea betonului prin metoda nedistructivă combinată
 - 7.4.1. Considerații generale
 - 7.4.2. Domeniu de aplicare
 - 7.4.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări
 - 7.4.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune
 - 7.5. Încercarea betonului prin metoda smulgerii în adâncime
 - 7.5.1. Considerații generale
 - 7.5.2. Domeniu de aplicare
 - 7.5.3. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

8. METODE DE EVALUARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

8.1. Evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ prin încercarea carotelor

8.1.1. Epruvete

8.1.2. Număr de epruvete de încercat

8.1.3. Abordări de evaluare

8.1.3.1 Generalități

8.1.3.2 Abordarea A

8.1.3.3 Abordarea B

8.2. Evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ prin metode indirecte

8.2.1. Generalități

8.2.1.1. Metode de evaluare

8.2.1.2. Varianta 1 – Corelație directă cu carotele

8.2.1.3. Varianta 2 – Etalonare cu carotele pentru un interval limitat al rezistenței, utilizând o relație stabilită

8.2.2. Încercări indirecte corelate cu rezistența la compresiune in-situ (varianta 1)

8.2.2.1. Domeniu de aplicare

8.2.2.2. Procedură de încercare

8.2.2.3. Stabilirea relației între rezultatul încercării și rezistența la compresiune in-situ

8.2.2.4 Evaluarea rezistenței la compresiune in-situ

8.2.3. Utilizarea unei relații determinate plecând de la un număr limitat de carote și curbă de bază (varianta 2)

8.2.3.1. Generalități

8.2.3.2. Procedură de încercare

8.2.3.3. Metodă de evaluare

8.2.3.4. Valabilitatea relațiilor

8.2.3.5. Estimarea rezistenței la compresiune in-situ

8.3. Evaluarea în cazurile în care conformitatea betonului bazată pe încercările standard prezintă dubii

8.4. Evaluarea rezistenței betonului prin metoda nedistructivă combinată (SONREB)

Anexa A - SCHEME LOGICE DE APLICARE A METODELOR DE EVALUARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

Anexa B - EXEMPLE DE PRELUCRARE A REZULTATELOR OBTINUTE PRIN APLICAREA METODELOR DE EVALUARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

Anexa C - COMENTARII ȘI RECOMANDĂRI

1. OBIECT ȘI DOMENIU DE APLICARE

1.1. Normativul prezintă principalele metode/proceduri de încercare și metode de evaluare in-situ a rezistenței betonului din structuri și din elemente prefabricate.

1.2. Prevederile normativului se aplică, în principal, pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului, la:

a) construcțiile existente, în următoarele cazuri:

- modificări sau schimbări de destinație ale structurii;
- evaluarea seismică a structurilor existente;

b) construcțiile noi, în următoarele cazuri:

- evaluarea rezistenței betonului în timpul execuției structurii;
- existența unor dubii în legătură cu nivelul rezistenței betonului datorate: modului de punere în operă, deteriorării betonului din cauze diverse, etc.
- constatări de neconformitate a rezistenței la compresiune a betonului în urma încercării probelor de beton la stații;
- neefectuarea de prelevări de probe la locul turnării.

1.3. Metodele de evaluare a rezistenței la compresiune a betonului prezentate în normativ sunt:

- metode nedistructive (metoda ultrasunetelor, metoda de duritate superficială);
- semi-nedistructive (metoda smulgerii în adâncime);
- distructive (metoda carotelor);
- simple sau combinate.

1.4. Normativul prezintă pentru fiecare metodă/combinatie de metode posibilitățile de aplicare, precizia de estimare a rezistenței, precum și principiile și metodologia pentru stabilirea relațiilor între rezultatele încercărilor și rezistența la compresiune a betonului.

1.5. Totodată, se fac recomandări asupra alegerii metodei de investigare celei mai adecvate, în funcție de condițiile de încercare, pentru a se obține valori ale rezistențelor la compresiune estimate cât mai apropiate de cele reale. Pentru fiecare metodă sunt expuse în detaliu situațiile în care folosirea acesteia este indicată/contraindicată.

1.6. Pentru evaluarea rezistenței la întindere a betonului, aceasta se poate determina prin:

- a) calcul, pe baza prevederilor din standardul SR EN 1992-1-1 referitoare la relațiile între rezistența la întindere și rezistența de compresiune;
- b) încercarea carotelor în mod direct (rezistența la întindere prin despicare).

1.7. Prezentul normativ nu tratează următoarele:

- determinarea calității betonului din construcții îngropate;
- determinarea porozității și a rezistenței la întindere prin despicare a betonului utilizând metoda carotelor;
- determinarea proprietăților elasto-dinamice, a omogenității, a defectelor și a degradărilor ascunse ale betonului utilizând metoda ultrasunetelor.

1.8. Metodele de evaluare in-situ a rezistenței la compresiune a betonului din structuri și din elemente prefabricate se efectuează de către laboratoare atestate/autorizate conform legislației în vigoare.

1.9. Prevederile normativului se adresează proiectanților, executanților de lucrări, specialiștilor cu activitate în domeniul construcțiilor atestați /autorizați în condițiile legii, organismelor de verificare și control (verificarea și/sau expertizarea proiectelor, verificarea, controlul și/sau expertizarea lucrărilor), precum și investitorilor/beneficiarilor de construcții.

2. DOCUMENTE DE REFERINȚĂ

2.1. Prezentul normativ se utilizează împreună cu următoarele documente de referință:

Reglementări tehnice:

Nr. crt.	Acte legislative	Act normativ prin care se aprobă reglementarea tehnică/ publicația
1.	Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 1: Producerea betonului, indicativ NE 012/1-2007	Ordinul ministrului dezvoltării lucrărilor publice și locuinței nr.577/2008 din 29 aprilie 2008, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 374 din 16 mai 2008
2.	Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 2: Executarea lucrărilor din beton, indicativ NE 012/2-2010	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2514/2010 din 22 noiembrie 2010, publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr.853 și nr.853bis din 20 decembrie 2010
3.	Cod de proiectare seismică. Partea a III-a. Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P 100-3/2008	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și locuinței nr.704/2009 publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.674 și nr.674 bis din 1 octombrie 2009, cu completările ulterioare

Standarde de referință:

Nr. crt.	Standarde	Denumire
1	SR EN 1992-1-1:2004	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
2	SR EN 1992-1-1:2004/AC:2012	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
3	SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională
4	SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008/A91:2009	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională
5	SR EN 13791:2007	Evaluarea in-situ a rezistenței la compresiune a betonului din structuri și elemente prefabricate
6	SR EN 13791:2007/C91:2007	Evaluarea in-situ a rezistenței la compresiune a betonului din structuri și elemente prefabricate
7	SR EN 12350 – 1:2009	Încercare pe beton proaspăt. Partea 1: Eșantionare
8	SR EN 12504-1:2009	Încercări pe beton în structuri. Partea 1: Carote. Prelevare, examinare și încercări la compresiune
9	SR EN 12504-2:2013	Încercări pe beton în structuri. Partea 2: Încercări nedistructive. Determinarea indicelui de recul
10	SR EN 12504-3:2006	Încercări pe beton în structuri. Partea 3: Determinarea forței de smulgere
11	SR EN 12504-4:2004	Încercare pe beton. Partea 4: Determinarea vitezei de propagare a ultrasunetelor

Nr. crt.	Standarde	Denumire
12	SR EN 12390-1:2013	Încercare pe beton întărit. Partea 1: Formă, dimensiuni și alte condiții pentru epruvete și tipare
13	SR EN 12390-2:2009	Încercare pe beton întărit. Partea 2: Pregătirea și păstrarea epruvetelor pentru încercări de rezistență
14	SR EN 12390-3:2009	Încercare pe beton întărit. Partea 3: Rezistența la compresiune a epruvetelor
15	SR EN 12390-3:2009/AC:2011	Încercare pe beton întărit. Partea 3: Rezistența la compresiune a epruvetelor
16	SR EN 12390-4:2002	Încercare pe beton întărit. Partea 4: Rezistența la compresiune. Caracteristicile mașinilor de încercare

2.2. Acest normativ cuprinde o serie de texte reproduse din standardele naționale SR EN 13791, SR EN 12504-4 identificate prin bară laterală. Textele conțin enunțuri, relații de calcul și diagrame care au la bază principii, concepte, modele și metode de încercare/evaluare a rezistențelor betonului, unanim recunoscute și utilizate în practica inginerescă.

3. TERMENI ȘI DEFINIȚII

În scopul prezentului normativ se aplică termenii și definițiile indicate în NE 012/1, precum și următoarele:

3.1

rezistența la compresiune standardizată

rezistența la compresiune determinată pe epruvete de încercare standardizate (cuburi sau cilindri) care sunt prelevate, confecționate, păstrate și încercate în conformitate cu SR EN 12350-1, SR EN 12390-2 și SR EN 12390-3.

3.2

rezistența la compresiune în-situ

rezistența betonului dintr-un element structural/element prefabricat, exprimată în termenii rezistenței echivalente a unei epruvete standardizate, cub sau cilindru.

3.3

rezistența caracteristică la compresiune în-situ

valoarea rezistenței la compresiune în-situ sub care se pot situa 5% din populația tuturor rezultatelor determinărilor de rezistență posibile ale volumului de beton considerat.

NOTĂ – Această populație este puțin probabil să fie aceeași populație folosită pentru a determina conformitatea betonului proaspăt din NE012/1.

3.4

carota

cilindru extras dintr-un element/structură de beton (simplu, armat sau precomprimat), prin operația de tăiere.

3.5

rezistența la compresiune a carotei

rezistența la compresiune a unei carote, determinată în conformitate cu SR EN 12504-1.

3.6

poziția de încercare

suprafață limitată, aleasă pentru măsurătorile utilizate pentru a estima un rezultat al încercării, care urmează a fi folosit la evaluarea rezistenței la compresiune in-situ.

3.7

zona de încercare

unul sau mai multe elemente structurale sau elemente prefabricate din beton, presupuse sau cunoscute a aparține aceleiași populații. O zonă de încercare cuprinde mai multe poziții de încercare.

3.8

încercări nedistructive

încercări care nu provoacă deteriorări ale elementului în timpul investigațiilor.

3.9 duritatea suprafeței betonului

proprietatea suprafeței betonului măsurată în termenii unei proporții a energiei returnate unei mase standardizate în urma impactului acesteia cu suprafața betonului.

3.10 rezistența la compresiune de referință

rezistența la compresiune a betonului obținută prin aplicarea directă a metodei combinate

3.11 rezistența la compresiune efectivă

rezistența la compresiune a betonului obținută din rezistența la compresiune de referință prin aplicarea coeficienților de influență

3.12

abaterea standard

abaterea standard (de sondaj), $s = \{[(x_1 - M)^2 + (x_2 - M)^2 + \dots + (x_n - M)^2]/(n-1)\}^{1/2}$ este un estimator al abaterii standard a populației, presupunând că există n rezultate în eșantion cu valorile $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ având media $M (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$

3.13

eroarea standard

eroarea standard $SE_x = s/\sqrt{n}$ reprezintă raportul între abaterea standard și rădăcina pătrată a numărului de rezultate, n .

4. SIMBOLURI

În scopul prezentului normativ se utilizează următoarele simboluri:

d diametrul carotei

d_r distanța de la axul barei până la cel mai apropiat capăt al carotei

f_{is} rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ

$f_{is,min}$ cel mai mic rezultat al încercării rezistenței la compresiune in-situ

$f_{m(n),is}$ media rezistenței la compresiune in-situ din n rezultate ale încercării

$f_{car.}$ rezistența la compresiune a betonului obținută pe carote

$f_{c,ref}$ rezistența la compresiune de referință a betonului obținută prin aplicarea metodei combinate

$f_{c,ef}$	rezistența la compresiune efectivă a betonului obținută din rezistența de referință după aplicarea coeficienților de influență
$f_{c,exp,i}$	rezistența la compresiune a betonului obținută prin încercări distructive la aplicarea metodei combinate
f_{ck}	rezistența caracteristică la compresiune
$f_{ck,is}$	rezistența caracteristică la compresiune in-situ
$f_{ck,is,cub}$	rezistența caracteristică la compresiune in-situ, exprimată prin rezistența echivalentă a unui cub cu latura de 150 mm
$f_{ck,is,cyl}$	rezistența caracteristică la compresiune in-situ exprimată prin rezistența echivalentă a unui cilindru de 150 mm x 300 mm
$f_{is,l}$	rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, evaluat prin metode indirecte de încercare, atunci când este stabilită o relație specifică prin intermediul încercărilor pe carotă
$f_{is,F}$	rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, estimat prin încercările de smulgere validate prin încercările pe carotă
$f_{is,R}$	rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, estimat prin încercările cu sclerometrul validate prin încercările pe carotă
$f_{is,v}$	rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, estimat prin încercările privind viteza de propagare a ultrasunetelor validate prin încercările pe carotă
f_F	valoarea inițială a rezistenței in-situ, obținută din curba de bază pentru o forță de smulgere
f_R	valoarea inițială a rezistenței in-situ, obținută din curba de bază a încercării cu sclerometrul
f_v	valoarea inițială a rezistenței in-situ, obținută din curba de bază pentru o viteză a ultrasunetelor
γ_c	coeficient parțial de siguranță pentru beton
k	limită asociată unor numere mici de rezultate ale încercărilor
k_1	coeficient care depinde de numărul de încercări cuplate
k_2	coeficient având valoarea de 1,48
l	înălțimea/lungimea carotei
n	numărul de rezultate ale încercărilor
s	abatere standard
v	rezultatul încercării privind viteza de propagare a ultrasunetelor aplicat la metoda indirectă
t_{cut}	grosimea coroanei diamantate a cuțitului cu care se taie carota
A_{car}	secțiunea transversală a carotei
F	rezultatul încercării la forța de smulgere

F_{car}	forța maximă atinsă la încercarea carotelor
L	distanța emițător-receptor în linie dreaptă
N	valoarea indicelui de recul
R	indicele de recul (rezultatul încercării cu sclerometrul)
T	timpul de propagare al impulsurilor în beton
V_a	viteza de propagare a ultrasunetelor în armătură
V_B	viteza reală de propagare a ultrasunetelor în beton
V_L	viteza de propagare longitudinală a ultrasunetelor
Δf	valoarea decalării curbei de bază
δf	diferență între rezistența carotei și valoarea rezistenței conform relației de bază
$\delta f_{m(n)}$	media a n valori ale δf
$\Phi_{max.agr}$	dimensiunea maximă a agregatului
Φ_{arm}	diametrul armăturii.

5. PLANIFICAREA INVESTIGAȚIILOR PRIVIND EVALUAREA REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

5.1. Considerații generale

5.1.1. Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din structuri furnizează date cu privire la cea mai importantă caracteristică a betonului, clasa sa de rezistență. Identificarea acesteia este necesară, în principal, la:

- evaluarea structurilor existente din beton;
- determinarea calității betonului din construcțiile noi, în cazul în care există dubii privind calitatea, neconformitatea betonului la stații, etc.

5.1.2. Metodele de evaluare a rezistenței la compresiune a betonului sunt prezentate la cap.8. Evaluarea rezistenței se face pe baza rezultatelor obținute aplicând metodele de încercare prezentate la cap.7.

5.1.3. În normativ sunt prezentate următoarele metode de încercare: metoda carotelor (pct.7.1), metoda ultrasunetelor (pct.7.2), metoda de duritate superficială (pct.7.3) și metoda smulgerii în adâncime (pct.7.5).

5.2. Clasificarea metodelor de încercare

Metodele de încercare se pot clasifica pe baza următoarelor criterii:

5.2.1. Locul efectuării încercărilor:

- in-situ;
- în laborator.

5.2.2. Domeniile de aplicare a unor ramuri ale fizicii:

- metode mecanice prin șoc;

- metode ultrasonice;
- metode electromagnetice.

5.2.3. Modul de determinare a rezistenței betonului:

- direct;
- indirect.

5.2.4. Efectul asupra betonului:

- distructiv;
- seminedistructiv;
- nedistructiv.

5.2.5. Aplicarea încercărilor nedistructive:

- simple;
- combinate.

5.3. Selectarea programelor de încercare

Programul de încercări se selectează, în principal, în funcție de obiectivele investigațiilor, condițiile locale și alte condiții relevante

5.3.1. Alegerea metodelor de investigare

Alegerea unei anumite metode de încercare dintre cele prezentate în tabelul 5.1 depinde de următorii factori:

- a) zona de testare. Factorii care trebuie luați în considerare:
 - poziția betonului de testat în element;
 - poziția secțiunilor celor mai sollicitate;
 - variația rezistenței pe grosimea elementului;
 - poziția armăturilor indentificate pe planșe sau utilizând pahometrul;
 - prezența unor defecte locale.
- b) efectele distructive produse. Alegerea între utilizarea unor metode distructive sau nedistructive poate fi influențată de efectul:
 - testării pe suprafața aparentă a elementului;
 - realizării de găuri prin carotare;
 - tăierii armăturii.
- c) precizia determinărilor. Nivelul de precizie depinde de:
 - metoda utilizată;
 - numărul de măsurători;
 - precizia și gradul de încredere al corelării între diferite metode.

În tabelul 5.1 este prezentată o clasificare a celor patru metode de încercare a rezistenței la compresiune a betonului pe baza unor criterii generale de apreciere, cu evidențierea principalelor particularități (avantaje/limitări) ale aplicării fiecăreia dintre acestea.

Tabelul 5.1 Avantajele și limitările aplicării diferitelor metode de încercare a rezistenței la compresiune a betonului

Zona testată	Tip metodă	Precizia estimării rezistenței	Viteza de efectuare	Ușurința de aplicare	Eficiența economică	Lipsa deteriorărilor
în adâncime	extragerea și încercarea carotelor	4	2	1	1	1
	viteza ultrasunetelor	2	3	3	3	4
în zona suprafeței	smulgerea în adâncime	2	2	1	1	2
la suprafață	duritatea suprafeței	1	4	4	4	4

NOTĂ- Punctajul de la 1 la 4 este acordat pentru clasificarea metodelor în funcție de diferite criterii de apreciere.

5.3.2 Considerații privind precizia evaluării rezistenței in-situ

Gradul de încredere al evaluării rezistenței betonului crește odată cu numărul de încercări efectuate.

Cea mai directă metodă de evaluare in-situ a rezistenței betonului este testarea carotelor extrase din lucrare (metodă distructivă).

Cea mai indicată procedură de evaluare este combinarea metodelor de încercare nedistructive cu cele distructive. De exemplu, măsurarea vitezei ultrasunetelor (metodă nedistructivă) pe carote, înainte de încercarea acestora, crește gradul de încredere a măsurărilor efectuate in-situ aplicând metoda vitezei ultrasunetelor. Totodată, investigarea unui număr cât mai mare de elemente prin aplicarea metodei vitezei ultrasunetelor, înainte de extragerea carotelor, conduce la o evaluare mai precisă a rezistenței betonului din structură.

În programul de încercare se poate alege o combinație dintre diferite metode de încercare care să permită:

- a) aplicarea unei metode ca preliminară alteia;
- b) utilizarea unui număr limitat de carote pentru realizarea corelării cu viteza ultrasunetelor pe anumite zone ale structurii, astfel încât metoda să poate fi utilizată la estimarea rezistenței betonului din întreaga structură;
- c) aplicarea a două sau mai multe încercări nedistructive care să conducă la o sporire a preciziei evaluării rezistenței betonului față de metodele simple.

5.3.3. Condiții locale

Condițiile care trebuie considerate la alegerea metodelor de investigare includ:

- a) starea generală a construcției de investigat, inclusiv în ceea ce privește posibilitatea de transport a echipamentelor de investigare;
- b) accesibilitatea în zonele de încercare;
- c) siguranța personalului care execută încercările și, în general, a persoanelor aflate în zonele de investigare.

5.3.4. Alți condiții de selectare

Programul de investigații trebuie să țină seama și de influența altor factori, precum:

- întârzierile de execuție pe durata efectuării încercărilor și analizării rezultatelor și luării deciziilor care se impun;
- necesitatea înlăturării betonului deteriorat și efectuării de reparații și/sau consolidări;
- particularitățile diferitelor metode de investigare;
- necesitatea de selectare a unui număr adecvat de încercări.

În tabelul 5.1 se prezintă o clasificare a aplicării diferitelor metode de încercare pe baza unor criterii generale de apreciere.

6. REZISTENȚA CARACTERISTICĂ LA COMPRESIUNE IN-SITU ÎN RAPORT CU CLASA DE REZISTENȚĂ LA COMPRESIUNE

Cerințele pentru rezistența caracteristică la compresiune minimă, determinată in-situ în conformitate cu standardul SR EN 13791, referitoare la clasele de rezistență la compresiune, determinate în conformitate cu normativul NE 012/1, sunt prezentate sintetic tabelul 6.1.

Tabelul 6.1 – Corespondența dintre rezistența caracteristică la compresiune in-situ minimă și clasa de rezistență la compresiune a betonului

Clasa de rezistență la compresiune în conformitate cu NE 012/1	Rezistența caracteristică a betonului determinată in-situ în conformitate cu SR EN 13791	
	$f_{ck, is, cil}$	$f_{ck, is, cub}$
C8/10	7	9
C12/15	10	13
C16/20	14	17
C20/25	17	21
C25/30	21	26
C30/37	26	31
C35/45	30	38
C40/50	34	43
C45/55	38	47
C50/60	43	51
C55/67	47	57

7. METODE DE ÎNCERCARE PENTRU EVALUAREA REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

7.1. Metoda carotelor

7.1.1. Considerații generale

7.1.1.1. Încercările prin extrageri de carote sunt încercări directe, distructive prin efectul pe care îl au asupra betonului din elementul examinat, și se efectuează în conformitate cu SR EN 12504-1.

7.1.1.2. Încercarea betonului cu ajutorul carotelor se folosește pentru obținerea unor informații privind calitatea betonului din lucrare, inclusiv asupra rezistenței la compresiune a acestuia.

7.1.1.3. Carotele nu reprezintă echivalentul pentru betonul din lucrare, al unei epruvete turnate, de aceeași formă și dimensiune. Acest fapt se datorează distrugerilor în structura betonului ce au loc atât pe suprafețele laterale, cât și pe cele de capăt ale carotei, în timpul operației de extragere și prelucrare.

Pentru obținerea rezistenței echivalente unui cub, cu latura de 150 mm, din același beton, este necesară aplicarea unor factori de corecție, care țin cont de aceste degradări.

7.1.2. Selectarea zonelor de extragere a carotelor

7.1.2.1. Pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ a betonului dintr-o structură/element prefabricat din beton se face o planificare a zonelor de încercare (extragere a carotelor). Astfel, se identifică una sau mai multe zone de încercare și în limitele fiecărei zone de încercare, se alege un număr de poziții de încercare. Alegerea mărimii pozițiilor de încercare depinde de metoda de încercare folosită. Numărul rezultatelor de încercare dintr-o zonă de încercare influențează gradul de încredere al evaluării.

7.1.2.2. Pentru evaluarea clasei de rezistență la compresiune a unei structuri existente, structura trebuie să fie împărțită în zone de încercare în care betonul se presupune că aparține aceleiași populații, fiind reprezentativ pentru calitatea generală (de ex. volumul de beton turnat odată, tehnologia de turnare utilizată, clasa betonului, etc). Un nivel al unei structuri etajate poate reprezenta o astfel de zonă, un planșeu de asemenea, dacă turnarea lui nu s-a făcut cu întreruperi importante.

7.1.2.3. În evaluarea rezistenței la compresiune in-situ trebuie luat în considerare faptul că cea mai scăzută rezistență a betonului este de obicei în apropierea suprafeței elementului structural, rezistența crescând odată cu creșterea adâncimii față de suprafață.

7.1.2.4. În cazurile în care trebuie evaluată capacitatea portantă a unei structuri existente, încercările trebuie să fie concentrate asupra betonului din elementele/părțile cele mai solicitate ale structurii. În aceste cazuri, luarea probelor nu trebuie să afecteze în mod nefavorabil capacitatea portantă a structurii.

7.1.2.5. Atunci când trebuie evaluate tipul sau amploarea deteriorărilor, zonele de încercare trebuie să fie concentrate asupra elementelor/părților cu comportare nefavorabilă identificată/așteptată. În aceste cazuri este utilă compararea rezultatelor cu cele obținute pe eșantioanele prelevate din părțile intacte ale structurii.

7.1.2.6. Înainte de stabilirea zonelor de extragere a carotelor, trebuie luate în considerare posibilele implicații ale acestor extrageri asupra siguranței structurale.

Selectarea zonelor de extragere a carotelor din elementele de construcții se stabilește de către proiectantul lucrării/expertul tehnic.

7.1.2.7. La selectarea zonelor de extragere a carotelor se vor avea în vedere următoarele:

- amplasarea în zonele care prezintă interes din punct de vedere al controlului calității betonului;
- evitarea, pe cât este posibil, a prelevării de carote prin armături;
- îndepărtarea de zonele în care pot fi intersectate armături (aceste zone pot fi stabilite pe baza proiectului și pot fi verificate prin măsurători nedistructive, metode electromagnetice);

- amplasarea în axa de simetrie sau cât mai aproape de aceasta a locului de extracție, la elementele verticale (stâlpi);
- amplasarea în zonele cu nivel redus de solicitare a betonului;
- deținerea de rezultate ale unor încercări nedistructive prealabile pentru verificarea controlului calității betonului, astfel încât rezultatele măsurărilor nedistructive să fie reprezentative pentru betonul din elementul examinat.

7.1.2.8. Carotele extrase din zone cu defecte locale (vizibile) nu pot fi utilizate decât la precizarea formei și a adâncimii defectului examinat. Carotele cu neomogenități importante în secțiune sau fisurate nu pot fi utilizate la determinarea rezistenței betonului din element.

7.1.3. Precizia încercării și numărul de carote

Rezistența carotei (precizia încercării) este influențată de factori datorati caracteristicilor betonului și factori datorati variabilelor de încercare, inclusiv dimensiunile carotelor.

O parte dintre factorii de influență susmenționați trebuie avuți în vedere atunci când se evaluează rezultatele încercării.

7.1.3.1 Caracteristicile betonului

Grad de umiditate

Gradul de umiditate al carotei influențează rezistența măsurată. Rezistența unei carote saturate este cu 10% până la 15% mai scăzută decât aceea a unei carote comparabile uscate în aer care, în mod normal, are un grad de umiditate cuprins între 8% și 12%.

Porozitate

Porozitatea ridicată diminuează rezistența. Astfel, o porozitate de aproximativ 1% diminuează rezistența cu 5% până la 8%.

Sensul de turnare a betonului în cofraj

Rezistența măsurată a unei carote, extrasă vertical în direcția turnării, poate fi mai mare decât rezistența unei carote extrase orizontal din același beton, în funcție de consistența betonului proaspăt. În acest caz, diferența de valoare poate varia între 0% și 8%.

Defecte locale

După extragerea carotelor, se pot identifica defecte la acestea generate din diverse cauze, între care: absorbția de apă în dreptul particulelor plate ale agregatului/în zonele de sub armăturile orizontale; golurile datorate segregării locale. Valabilitatea rezultatelor evaluării rezistenței pentru aceste carote, precum și capacitatea lor de a reprezenta rezistența in-situ generală, sunt aspecte care trebuie evaluate separat.

7.1.3.2 Variabile de încercare

La metoda carotelor, precizia de încercare depinde de respectarea unor tehnici de extragere privind:

- asigurarea direcției de extragere a carotelor riguros perpendiculare pe “fața de atac” a carotierei, astfel încât carotele să nu sufere nici o degradare; în vederea asigurării perpendicularității direcției de tăiere pe fața de atac, se recomandă testarea adecvată a carotierei și încastrarea ei corespunzătoare în element;

- evitarea, pe cât posibil, a extragerii carotelor pe suprafața de turnare sau în vecinătatea ei; se vor prefera extragerile de carote de pe fețele verticale cofrate, cu centrul carotei la cel puțin 15-20 cm de fața de turnare; în cazul în care nu se dispune de asemenea suprafețe, se admit încercările pe suprafețele de turnare;
- asigurarea, pe tot timpul carotării, a răcirii cu apă corespunzătoare a coroanei diamantate și a betonului pentru a se evita degradarea excesivă, prin încălzire, a acestora;
- interzicerea utilizării coroanelor, din carborundum, indiferent de gradul lor de uzură, la betoanele preparate cu agregat cuarțos;
- asigurarea, în cazul în care grosimea elementului încercat este redusă (sub 30 cm), a extragerii carotei pe toată grosimea elementului și fracționarea ei ulterioară prin tăiere (procedura asigură un paralelism mai bun al fețelor de capăt);
- în cazul în care grosimea elementului încercat este mare (peste 30 cm), este necesară desprinderea epruvetei de pe fund prin acționarea în consolă a carotei cu o pârghie sau pană, în șanțul produs prin carotare. Totodată, se va urmări obținerea unor suprafețe de capăt cu denivelări minime (sub 2 cm);
- nu se admit pentru încercare carote ce conțin armături longitudinale sau înclinate la mai puțin de 45° față de axa carotei;
- asigurarea efectuării transportului și manipulării de la locul de extracție, la locul de păstrare și încercare, în condiții care să împiedice degradarea carotei.

7.1.3.3 Variabile ale carotelor

Diametrul carotei

Diametrul carotei influențează rezistența măsurată și variabilitatea rezistenței. Rezistența unei carote forate orizontal cu diametrul de 100 mm și o înălțime egală cu diametrul corespunde rezistenței epruvetelor cubice cu o dimensiune a laturii de 150 mm.

În carotele cu diametre mai mici de 100 mm și $l/d = 1$, variabilitatea rezistenței este, în general, mai mare. Din acest motiv, la carotele de 50 mm este recomandată utilizarea unui număr de trei ori mai mare de carote decât atunci când încercările se efectuează pe carote cu diametrul de 100 mm, cu o interpolare liniară pentru diametrele cuprinse între 100 și 50 mm.

Variabilitatea rezistenței măsurate a betonului crește odată cu descreșterea diametrului.

Carotele cu un diametru mai mic de 50 mm (micro-carote) necesită proceduri de încercare care nu fac obiectul prezentului normativ.

Raportul lungime/diametru

Raportul lungime/diametru influențează rezistența măsurată. Rezistența descrește pentru rapoartele $l/d > 1$ și crește pentru rapoartele $l/d < 1$. Acest fapt se datorează, în principal, presiunii exercitate de platanele mașinii de încercare.

Planeitatea extremităților carotei

Abaterea de la planeitate diminuează rezistența măsurată. Toleranța pentru planeitate trebuie să fie aceeași ca pentru epruvetele standard, în conformitate cu SR EN 12390-1.

Pregătirea extremităților carotei

Stratul de rezistență mică generează o diminuare a rezistenței. Straturile subțiri din mortar de rezistență mare sau din sulf de rezistență mare nu influențează semnificativ rezistența. Se recomandă rectificarea acestor extremități.

Efectul carotării

Operațiile de carotare pot produce deteriorări la betonul tânăr sau la betonul slab calitativ care, în mod normal, nu pot fi observate pe suprafața decupată.

O carotă poate fi calitativ mai slabă decât un cilindru din același beton turnat, deoarece suprafața acesteia include fragmente tăiate ale granulelor de agregat, care pot fi reținute pe suprafață numai prin aderența matricei de legătură (prezența acestor particule contribuie în mică măsură la rezistența carotei).

Armătura

Carotele folosite la măsurarea rezistenței betonului nu trebuie să conțină bare de armătură. Atunci când acest lucru nu poate fi evitat, este de așteptat să se constate o diminuare a rezistenței măsurate la carota care conține armătură (altfel decât de-a lungul axei sale). Orice carotă care conține bare de armare în sau aproape de axa longitudinală nu este adecvată pentru încercarea de rezistență.

7.1.3.4 Numărul de carote

Alegerea numărului de carote extrase se face în funcție de următoarele criterii:

- scopul examinării (evaluarea structurilor existente din beton, determinarea calității betonului din construcții noi, în cazul în care există dubii privind calitatea, neconformitatea betonului la stații, etc.). În cazul construcțiilor existente numărul de probe va fi stabilit de expert iar în cazul construcțiilor noi de către proiectant/expert; se recomandă ca numărul de probe să fie cel puțin egal cu cel recomandat în cazul prelevării probelor la locul de turnare*;
- numărul elementelor structurale investigate;
- variațiile locale ale calității betonului de la un element la altul, precum și în interiorul aceluiași element;
- gradul și modul de solicitare a elementului;
- amploarea avariilor produse;
- diametrul carotelor;
- modalitatea de evaluare a rezistenței betonului utilizând încercarea carotelor (metoda independentă, corelarea cu metode indirecte).

* NOTĂ – La selectarea numărului de carote extrase dintr-o structură se va ține seama de necesitatea de a calcula o rezistență a betonului care să caracterizeze o zonă specifică (populație) distinctă a structurii (de ex. mulțimea carotelor care caracterizează, după caz, fie aceeași clasă de beton, fie același tip de element, fie un nivel dat al construcției).

Aspecte suplimentare cu privire la alegerea numărului de carote sunt prezentate la pct.8.1.2.

7.1.4. Mărimea carotelor

7.1.4.1. Diametrul d al carotei ce se extrage depinde de următoarele elemente:

- dimensiunea maximă a agregatului;
- distanța minimă între armături în zona de extracție;
- diametrul interior al cuțitelor de tăiere;
- rezervele de rezistență sau nivelul de solicitare, în zona de extracție.

Se recomandă ca diametrul carotei să fie $d=100$ mm. Când nu se pot extrage carote având acest diametru (de exemplu din cauza aglomerărilor de armătură sau când este imposibil

să se obțină rapoarte între înălțimea carotei și diametrul mai mari de 1) se acceptă și carote având diametre mai reduse (a se vedea 7.1.3.3).

Diametrul carotei se recomandă să fie cel puțin de 3 ori mai mare decât dimensiunea maximă a agregatului $\Phi_{max.agr}$, dar în orice caz nu mai mic de $2 \Phi_{max.agr}$.

$$d \geq 3 \Phi_{max.agr} \quad (7.1)$$

În raport cu distanța între armături a (în cm), în zona de extracție, se recomandă respectarea relației:

$$d \leq a - \Phi_{arm} - 2 t_{cut} - 3 \quad (7.2)$$

unde,

Φ_{arm} diametrul armăturii în zona de extragere, în cm;

t_{cut} grosimea coroanei diamantate a cuțitului cu care se taie carota, în cm.

În aprecierea slăbirii maxime admise a secțiunii elementului încercat se va ține seama că, de regulă, carotele nu sunt extrase pe toată adâncimea elementului iar prin completarea ulterioară a golului produs prin forare este posibil ca să se realizeze numai refacerea parțială a secțiunii slăbite.

7.1.4.2 Lungimea carotei încercate distructiv l (în cm) este recomandabil să fie cel puțin egală cu diametrul și, în orice caz, cu valori cuprinse între:

$$d \leq l \leq 2d \quad (7.3)$$

7.1.5. Pregătirea carotelor înainte de încercare

După ce carotele au fost extrase cu ajutorul carotierei, acestea se șterg de apă iar suprafața umedă datorită răcirii cu apă a betonului din timpul extragerii trebuie lăsată să se usuce nu mai mult de o oră de la extragere. După extragere, carotele se introduc în saci de plastic sau în containere neabsorbante astfel încât să nu se reducă umiditatea betonului și se mențin la temperatura mediului, ferite de contactul direct cu soarele. Carotele se vor transporta la laborator în cel mai scurt timp posibil. În cazul în care umiditatea betonului carotelor trebuie să fie similară cu cea a betonului din lucrare, carotele se mențin în sacii de plastic până în momentul în care se realizează prelucrarea acestora la capete, astfel încât perioada de scoatere din sacii de plastic până la încercare să nu depășească 2 ore.

Dacă se utilizează apă în timpul prelucrării capetelor, aceste operațiuni trebuie efectuate cât de repede posibil și nu mai târziu de 2 zile de la extragerea carotelor.

După prelucrarea capetelor, respectând cerințele din SR EN 12504-1*) se șterg probele, se lasă să se usuce și se introduc în saci de plastic. Se va minimiza durata expunerii cu apă în timpul prelucrării capetelor. Carotele vor rămâne în sacii de plastic pentru cel puțin 5 zile după ultimul contact cu apă, dacă nu există alte specificații privind efectuarea încercărilor. Dacă probele nu sunt menținute în saci, ci în condiții de laborator timp de minimum 3 zile se consideră că acestea sunt uscate în aer.

În cazul în care se cere ca încercarea carotelor să se facă în condiții de saturare a probelor acestea vor fi menținute cel puțin 48 de ore în apă la temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ înainte de încercare.

*) NOTĂ - Obținerea de fețe de capăt plane, paralele între ele și perpendiculare pe generatoare în conformitate cu SR EN 12390-3 și încadrarea în toleranțele indicate în SR EN 12390-1 sunt condiții principale pentru corectitudinea încercării. Când fețele de capăt rezultă plane și paralele direct după operația de tăiere (sunt fețele cofrate ale betonului), rezistențele obținute la încercarea carotelor sunt maxime, întrucât nu se produce nici o degradare a suprafeței betonului prin prelucrarea mecanică a suprafețelor de capăt. Dacă acestea nu rezultă plane și perpendiculare pe generatoare după tăiere, există posibilități de prelucrare a suprafețelor prin:

- polizarea suprafețelor de capăt;
 - tăierea suprafeței/suprafețelor de capăt;
 - completarea zonelor de capăt cu material liant de adaos până la obținerea unei suprafețe plane, perpendiculare pe generatoare
- i. Polizarea suprafețelor de capăt se face cu ajutorul unor materiale abrazive acționate electro-mecanic. Se recomandă ca pe parcursul operației de polizare să se practice răcirea cu apă a betonului și a discului. Se admit pentru polizare, carote cu denivelări maxime de 2..3 mm. Tăierea carotelor se face cu fierăstrău electric, prevăzut cu cuțite diamantate, sub jet de apă de răcire.
 - ii. Stratul de completare utilizat pentru nivelarea suprafețelor de capăt trebuie să aibă următoarele caracteristici:
 - aderență bună la beton, astfel încât ruperea la tracțiune a unei epruvete să se facă în afara lipiturii;
 - modulul de elasticitate apropiat de cel al betonului;
 - rezistență la compresiune apropiată de a betonului încercat;
 - viteză ridicată de întărire;
 - grosime maximă de 1 cm.
 - iii. Se recomandă utilizarea următoarelor straturi de nivelare:
 - Mortar epoxidic;
 - Mortar de ciment;
 - Pastă de sulf.

În cazul utilizării mortarului de ciment, ca strat de nivelare, se recomandă menținerea în apă timp de minimum 24 de ore a carotei înainte de aplicarea nivelării, și alte 48 de ore înainte de încercare, începând de la o zi după aplicare stratului de nivelare. Trebuie avută în vedere, și în acest caz, influența umidității asupra rezistenței obținute.

7.1.6. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

7.1.6.1. Încercarea la compresiune se efectuează în conformitate cu SR EN 12390-3 utilizând o mașină de încercat la compresiune în conformitate cu SR EN 12390-4.

Pentru fiecare probă (carotă) rezistența la compresiune se determină prin împărțirea forței maxime F la aria secțiunii carotei A_{car} calculată pe baza diametrului mediu $f_{car} = F_{car}/A_{car}$, exprimând rezultatele la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa (N/mm²).

Rezistența obținută prin încercarea directă a unei carote, la presă, la compresiune, nu reprezintă rezistența betonului la compresiune în structură, definită ca rezistența unui cub cu latura de 150 mm, confecționat din același beton cu betonul din lucrare și păstrat în condiții standardizate sau în condiții similare cu cele ale structurii.

În cazul în care raportul între înălțimea și diametrul carotei este 2 rezultatele pot fi comparate cu rezistența cilindrică, iar în cazul în care raportul este 1, rezultatele pot fi comparate cu rezistența cubică.

Determinarea rezistenței in-situ dintr-un element f_{is} , respectiv echivalența cu rezistența obținută pe epruvete de forma cubică cu latura de 150 mm, se face cu relația:

$$f_{is} = a \times b \times c \times e \times g \times f_{car} \quad (7.4)$$

în care:

- a coeficient de corecție care ține seama de influența diametrului carotei (Tabelul 7.1);
- b coeficient de corecție ce ține seama de raportul h/d între înălțimea și diametrul carotei (Tabelul 7.2);
- c coeficient de corecție ce ține seama de influența stratului degradat (Tabelul 7.3);

e coeficient de corecție care ține seama de influența naturii stratului de adăugat pentru prelucrarea suprafeței (Tabelul 7.4);

g coeficient ce ține seama de umiditate (Tabelul 7.5);

$$f_{car.} = F_{car.}/A_{car}$$

unde:

$f_{car.}$ este rezistența carotelor la compresiune, în megapascali sau newtoni pe milimetri pătrați;

F_{car} forța maximă la cedare, în newtoni;

A_{car} secțiunea transversală a epruvetei în milimetri pătrați.

Tabelul 7.1 Valorile coeficientului a

d (cm)	5	10	15
a	1,06	1,00	0,98

Tabelul 7.2 Valorile coeficientului b

h/d	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
b	1,00	1,09	1,19	1,22	1,25

Tabelul 7.3 Valorile coeficientului c

Modul de obținere a suprafeței de capăt	c
Direct, din turnarea betonului fără prelucrări	1,00
Tăietura transversală pe o față	1,05
Rupere de pe fund pe o față	1,05
Tăieturi transversale pe ambele fețe	1,06

Tabelul 7.4 Valorile coeficientului e

Natura stratului de nivelare	e
Suprafețe de beton cofrate rezultate din turnare	1,00
Mortar epoxidic	1,00
Mortar de ciment	1,07
Pasta de sulf	1,08

Tabelul 7.5 Valorile coeficientului g

Umiditatea carotei (a se vedea pct 7.1.5)	g
Carotă uscată în aer	0,96
Carotă cu umiditate egală cu cea a betonului din element	1,0
Carotă menținută în apă 48 ore	1,09

NOTĂ - În cazul în care carotele sunt încercate la o vârstă a betonului diferită față de cea de la 28 de zile și este necesară deducerea rezistenței corespunzătoare la 28 de zile, trebuie aplicați coeficienți de corecție care depind de tipul de ciment și de viteza de întărire a acestuia. Coeficienții de corecție h , sunt subunitari la vârste ale betonului mai mari de 28 de zile, iar valorile lor trebuie să țină seama de capacitatea mai mare de creștere în timp a rezistențelor cimenturilor cu adaosuri în special de zgură. Orientativ, la o vârstă a betonului de peste 1 an se pot considera următoarele valori ale coeficienților h : 0,9 pentru cimenturi fără adaosuri, 0,85 pentru cimenturi având sub 20% adaosuri, și 0,80 pentru cimenturi cu peste 21% adaosuri. În cazul unei vârste mai mici a betonului, coeficienții de corecție se determină pe baza datelor de la producătorul de beton care, în conformitate cu

reglementările tehnice specifice în vigoare trebuie să determine viteza de întărire a betonului (raportul între rezistența la compresiune la 2 zile și respectiv la 28 de zile).

În cazul în care carotele conțin una sau mai multe armături perpendiculare pe axa acestora, la valoarea lui f_{is} calculată în conformitatea cu relația (7.4) trebuie aplicat un coeficient supraunitar care se poate calcula, astfel:

$$h = 1.0 + (1.5 \Sigma \Phi_{arm} d_r / d x l) \quad (7.5)$$

în care:

Φ_{arm} diametrul armăturii

d_r distanța de la axul barei până la cel mai apropiat capăt al carotei

d diametrul carotei

l înălțimea carotei.

7.1.6.2. Modalitatea de prelucrare a rezultatelor obținute utilizând această metodă de încercare pentru evaluarea rezistenței betonului este prezentată la cap.8.

7.2. Metoda ultrasunetelor

7.2.1. Considerații generale

7.2.1.1. Încercările realizate utilizând metoda ultrasunetelor sunt încercări nedistructive și se efectuează în conformitate cu SR EN 12504-4.

7.2.1.2. Metoda se bazează pe măsurarea timpului de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton, între 2 transductori (emițător și receptor) - palpatori.

Din această măsurătoare se deduce, de regulă în prima etapă, viteza de propagare longitudinală a ultrasunetelor în beton și ulterior, rezistența betonului ținând seama de compoziția sa. Corelarea între viteza ultrasunetelor și rezistența betonului trebuie făcută numai pentru un anumit amestec de beton. În cazul unui beton de compoziție necunoscută estimarea rezistenței numai pe baza vitezei ultrasunetelor nu este recomandată.

7.2.1.3. În metoda ultrasunetelor, un emițător alimentat corespunzător produce impulsuri ultrasonice care se propagă prin beton. Un receptor de ultrasunete captează aceste impulsuri și le transformă într-un semnal electric.

Un bloc electronic permite măsurarea timpului de propagare scurs între momentul emisiei și momentul recepției impulsului.

7.2.1.4. În funcție de modul de amplasare a transductorilor (palpatorilor) pe suprafața betonului, se disting următoarele tehnici de încercare:

a) Prin transmisie directă, când emițătorul și receptorul sunt situați coaxial pe două fețe opuse ale elementului (fig. 7.1);

b) Prin transmisie diagonală, când emițătorul și receptorul sunt situați pe fețe diferite ale betonului dar necoaxial (fig 7.2);

c) Prin transmitere indirectă (tehnica de suprafață) când emițătorul și receptorul sunt situați pe aceeași față a elementului (fig.7.3).

Pentru determinarea rezistenței betonului prin metodele indicate la cap. 8 se recomandă să se aplice tehnica de încercare prin transmitere directă (a).

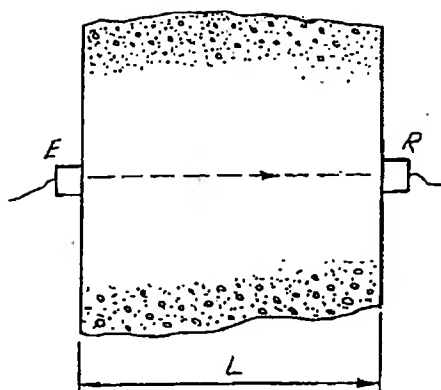


Figura 7.1 - Tehnica transmisiei directe

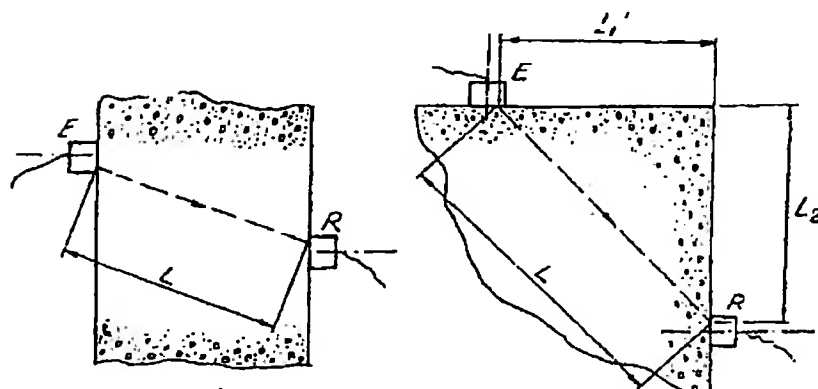


Figura 7.2 - Tehnica transmisiei diagonale

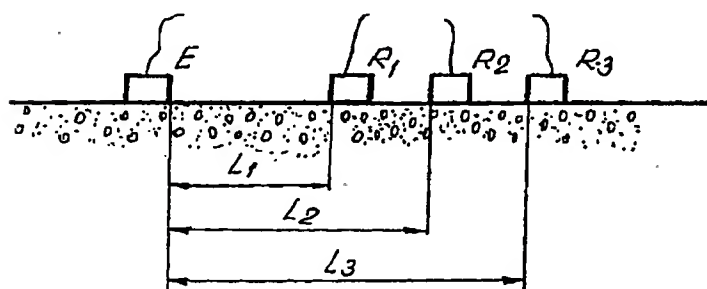


Figura 7.3 - Tehnica transmisiei de suprafață

7.2.2. Domeniu de aplicare

7.2.2.1. Prezentul normativ stabilește regulile de efectuare a măsurătorilor cu aparatură specifică (betonoscop) și de interpretare a rezultatelor încercărilor efectuate prin metoda ultrasonică pentru determinarea rezistenței betonului numai în combinații cu alte metode nedistructive sau distructive.

7.2.2.2. Folosirea metodei ultrasonice de impuls este indicată la:

- controlul calității betonului, îndeosebi când acesta este turnat în elemente masive sau prezintă defecte aparente sau ascunse;
- urmărirea întăririi betonului, îndeosebi în fazele inițiale ale acestui proces, când au loc modificări importante ale vitezei de propagare;
- determinarea degradărilor structurale ale betonului în timpul solicitărilor sau acțiunilor fizice sau chimice agresive;
- determinarea gradului de compactare al betonului în lucrare;

e) încercarea elementelor la care există posibilitatea existenței unei diferențe sistematice între calitatea betonului în stratul de suprafață și în profunzime.

7.2.2.3. Folosirea metodei ultrasonice de impuls este contraindicată în următoarele cazuri:

- a) în zonele cu mari aglomerări de armătură mai ales când aceasta este orientată paralel cu direcția de propagare emițător-receptor;
- b) la determinarea rezistenței betonului în zone care acesta prezintă degradări structurale;
- c) la betoane de compoziție complet necunoscută;
- d) la betoane executate cu dozaje ridicate ($> 400 \text{ kg/m}^3$).

7.2.2.4. Viteza de propagare longitudinală V_L se calculează cu relația:

$$V_L = L/T \quad (\text{Km/s}) \quad (7.6)$$

în care:

L este distanța emițător-receptor în linie dreaptă, în mm

T este timpul de propagare al impulsurilor în beton, în μs .

Pentru ca viteza măsurată să fie riguros o viteză de propagare longitudinală în mediu infinit, trebuie ca toate dimensiunile epruvetei (a , b , c) să satisfacă relația:

$$a, b, c \geq 2\lambda \quad (7.7)$$

în care:

λ - este lungimea de undă a ultrasunetului:

$$\lambda = V_L / n \quad (7.8)$$

în care:

n - este frecvența oscilațiilor utilizate.

Eroarea care se face în definirea vitezei longitudinale în cazul nerespectării riguroase a condiției poate fi neglijată până la limita:

$$a, b, c \geq 1,2 \lambda \quad (7.9)$$

după care corecțiile ce se aplică devin prea importante pentru a fi neglijate.

În cazul în care una din dimensiunile elementului, transversală pe direcția de propagare, verifică relația:

$$b \text{ sau } c \leq \lambda \quad (7.10)$$

viteza care se măsoară este o viteză longitudinală în plăci V_p corelată, pentru beton, cu viteza longitudinală în medii infinite V_L prin relația:

$$V_p \cong 0,96 V_L \quad (7.11)$$

în cazul în care ambele dimensiuni transversale ale elementului verifică relația:

$$b \text{ și } c \geq 0,2 \lambda \quad (7.12)$$

Viteza care se măsoară este o viteză a undelor de dilatare V_D , corelată, pentru beton, cu viteza longitudinală în medii infinite prin relația:

$$V_D \cong 0,9 V_L \quad (7.13)$$

În domeniul situat între cel definit de relațiile (7.9) și (7.12) există un regim tranzitoriu în care viteza de propagare măsurată depinde de raportul dintre dimensiunile transversale ale epruvetei și lungimea de undă a ultrasunetului.

Viteza de propagare măsurată în tehnica de suprafață pe fața de turnare a betonului este mai mică de regulă cu 4 - 6% decât viteza de propagare măsurată prin transmisie directă, pe fețele cofrate, datorită proprietăților particulare ale stratului din vecinătatea suprafeței de turnare.

7.2.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări

7.2.3.1. Alegerea elementelor de încercat se face de către proiectant sau de expert în funcție de tipul de structură din beton armat.

7.2.3.2. Numărul secțiunilor examinate pe fiecare element depinde de obiectivul examenului nedistructiv. Astfel, pentru controlul prin sondaj al rezistenței betonului în elemente sunt necesare minimum 3 secțiuni, situate în zonele de solicitare maxime ale elementului și, pe cât posibil, distribuite în lungul acestuia.

7.2.3.3. Numărul punctelor de încercare într-o secțiune depinde de latura secțiunii și de numărul de fețe accesibile pentru încercare.

În general, pentru controlul prin sondaj a rezistenței betonului numărul variază, între 3 și 6. În cazul aplicării metodei nedistructive combinate pentru evaluarea rezistenței caracteristice a betonului din elemente este necesar un număr de minimum 15 puncte de măsurare.

În cazul investigării epruvetelor, numărul punctelor de încercare este de minimum 3, pentru cuburile cu latura de 150 mm și pentru cilindrii de 150 x 300 mm.

Se va evita alegerea punctelor de încercare pe fața de turnare și chiar pe cea opusă acesteia. Se vor prefera încercările pe fețele laterale, cofrate ale elementului.

Se va evita alegerea direcției de încercare paralelă cu direcția armăturilor principale de rezistență, ca și amplasarea punctelor de încercare în zone cu mari concentrări, indiferent de orientarea acestora.

Distanța minimă a punctelor de încercare față de muchiile elementului trebuie să fie de 10 - 12 cm. În cazul investigării epruvetelor, punctele de încercare vor fi prevăzute în axul acestora (egal depărtate față de muchii).

Suprafața de beton pe care urmează a fi aplicat transductorul trebuie să fie perfect plană, lipsită de rugozități și de incluziuni de corpuri străine, inclusiv de praf. În acest scop se recomandă prelucrarea suprafețelor de beton prin frecare cu o piatră de carborund și suflarea suprafeței, după încheierea prelucrării, pentru înlăturarea prafului.

Suprafața de beton prelucrată trebuie să depășească suprafața transductorului.

7.2.3.4. Distanța minimă între punctele de emisie și recepție ale unei măsurători, utilizate la determinarea rezistenței betonului, trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

a) $L \geq 2\lambda$ (7.14)

în care:

λ - este lungimea de undă a ultrasunetelor utilizate.

Pentru betonoscoape cu palpatori de 50 kHz la betoanele obișnuite, relația (7.14) presupune un spațiu de cca. 16 cm între aceștia.

$$b) \quad L \geq 6\Phi_{max\ agr} \quad (7.15)$$

în care:

Φ_{max} este dimensiunea maximă a agregatului utilizat la prepararea betonului.

Dimensiunea minimă a elementului normal pe direcția de încercare trebuie să îndeplinească condiția:

$$a \geq 2\lambda \quad (7.16)$$

pentru ca viteza de propagare măsurată să corespundă vitezei longitudinale. Pentru betonoscoape cu palpatori de 50 kHz, la betoanele obișnuite, relația (7.16) presupune o dimensiune de cca. 16 cm.

Dacă una din dimensiunile transversale ale elementului îndeplinește condiția (7.16), iar cealaltă dimensiune condiția:

$$b \geq \lambda \quad (\text{pentru 50 kHz, cca. 8 cm}) \quad (7.17)$$

se poate admite, cu o marjă de eroare de 1,5 - 2%, că viteza măsurată este cea corespunzătoare undelor longitudinale.

Dacă ambele dimensiuni transversale îndeplinesc condiția (7.17), dar nu îndeplinesc condiția (7.16) se poate admite cu o marjă de eroare de 3%, că viteza măsurată este cea corespunzătoare undelor longitudinale.

7.2.3.5. La examinarea stâlpilor monoliți este util ca încercările să se facă pe ambele direcții ale stâlpului din secțiunea transversală.

Este necesară evitarea încercărilor în dreptul etrierilor. În acest scop se poate folosi fie metoda pachometrului pentru localizarea etrierilor, fie o identificare vizuală, combinată cu date de proiect (distanța dintre etrieri), fie exclusiv datele de proiect, din examinarea cărora se poate alege o distanță între secțiuni h_s definită ca multiplu fracționar al distanței din proiect între etrieri, astfel:

$$h_s = (5/4)h_e \quad (7.18)$$

care asigură ca cel puțin 3 din 4 secțiuni să fie situate în afara etrierilor.

Rezultatele încercărilor efectuate în dreptul etrierilor nu sunt considerate a fi cele reale, îndeosebi la punctele marginale ale secțiunii.

7.2.3.6. Trasarea și marcarea locurilor de încercare se face cu instrumente adecvate pentru a se obține o precizie a trasării de ± 1 cm.

În acest scop, sunt suficiente, de regulă, următoarele instrumente uzuale: nivelă, fir cu plumb, echer și metru și instrumente pentru marcaj.

La trasarea elementelor de mare serie, cum sunt cele realizate industrializat în fabricile de elemente prefabricate, se pot folosi șabloane.

7.2.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

7.2.4.1. Aparatele cu ultrasunete folosite la determinarea nedistructivă a rezistenței la compresiune a betoanelor se recomandă să aibă palpatori de frecvență proprie cuprinsă între 20 și 100 kHz. Frecvențele joase de 10 kHz, ca și cele înalte de 200 kHz, pot fi folosite numai în anumite cazuri. Palpatorii de înaltă frecvență (60 - 200) kHz se utilizează pentru elemente de grosimi mici (mai reduse de 50mm) iar palpatorii de joasă frecvență (10 - 40) kHz pentru elemente de grosimi mari.

Palpatorii cu frecvența între 40 și 60 KHz sunt utilizați pentru majoritatea aplicațiilor. În afara acestor limite, contribuția dispersiei fizice și geometrice, la rezultatul măsurătorii, poate ajunge importantă.

În cazul alimentării la rețeaua electrică, aparatele trebuie să fie capabile să suporte variații de tensiune de cel puțin + 10% și -15%. În cazul alimentării la baterie, aceasta trebuie să asigure o autonomie de funcționare de cel puțin 4 ore.

Aparatul trebuie să fie capabil să asigure o măsurare a timpului de propagare a impulsurilor ultrasonice prin bara etalon $\pm 0,1\mu s$ și o precizie de măsurare a timpului de cel puțin 2%.

Instrumentele de măsurare a spațiului trebuie să asigure o precizie de măsurare a acestuia după cum urmează:

- a) $\pm 0,5\%$ în condiții de laborator, pe epruvete;
- b) $\pm 1\%$ în condiții de șantier, pe elemente.

Aparatul trebuie să dispună de un mijloc de verificare a măsurătorii de timp de propagare efectuate. Sistemul cel mai uzitat în acest scop este cel în care se folosește o bară de calibrare sau de etalonare.

Eliminarea timpului de propagare corespunzător propagării între transductori se face printr-o măsurătoare cap la cap (în contact direct emițător-receptor). Unele aparate au posibilitatea eliminării acestui timp de la început, în timp ce altele presupun extragerea lui din fiecare măsurătoare.

Întreaga aparatură de încercare trebuie să-și mențină performanțele de funcționare în următoarele condiții:

- temperatură între $-10^{\circ}C$ și $+45^{\circ}C$;
- umiditate până la 90%.

7.2.4.2. Tehnica de încercare presupune aplicarea unui strat de mediu cuplant pe suprafața transductorilor. Acesta trebuie aplicat în grosimea minimă necesară expulzării complete a aerului dintre palpator și beton, sau poate fi aplicat în exces dar, în acest caz, trebuie să fie suficient de fluid pentru a putea expulza excesul, prin presarea palpatorului pe beton.

Mediile cuplante recomandate pentru beton în funcție de rugozitatea suprafeței sunt: vaselina tehnică, vaselina siliconică și plastilina.

Înainte de începerea măsurătorilor, inclusiv a reglajului de zero, aparatul trebuie lăsat în funcție un timp pentru a intra în regim termic de echilibru. Reglajul de zero trebuie făcut la o amplitudine a semnalului comparabilă cu cea care va fi utilizată ulterior la încercările pe beton. Reglajul se face prin menținerea în contact direct a celor doi transductori (emițător și receptor). Măsurarea timpului de propagare a impulsului în beton presupune următoarele etape:

- aplicarea transducerilor, prevăzuți cu mediu cuplant, pe suprafața betonului în zonele marcate, nivelate și curățate, și menținerea lor în contract ferm cu betonul, sub o forță minimă obținută prin aplicare manuală de ordinul a 10 Kgf;

- amplificarea semnalului recepționat până la o amplitudine care permite identificarea clară a momentului sosirii semnalului, de ordinul 2,5 - 3 cm;

- măsurarea timpului de propagare scurs între momentul emisiei și momentul recepției semnalului acustic prin aducerea în coincidență a unui semnal de referință, cu momentul sosirii semnalului acustic (fig. 7.4).

Unele măsurători, ca cele referitoare la determinarea constantelor elasto-dinamice ale materialului, necesită o amplificare suplimentară a semnalului recepționat, până la amplitudinea maximă permisă de aparat, fără apariția zgomotului de fond, care să perturbe măsurătoarea (fig. 7.5).

Asemenea măsurători conduc la valori în medie cu 1 - 3% mai mici ale timpului de propagare măsurat. Acestea nu sunt recomandate în măsurătorile legate de determinarea rezistenței betonului, întrucât rezultatul unei astfel de măsurători depinde de lungimea traiectoriei impulsului în beton.

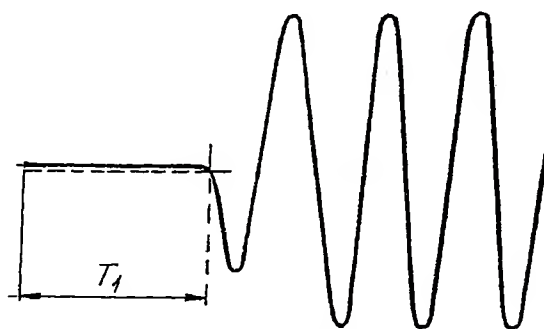


Figura 7.4 - Măsurătoarea de timp la amplitudine standard

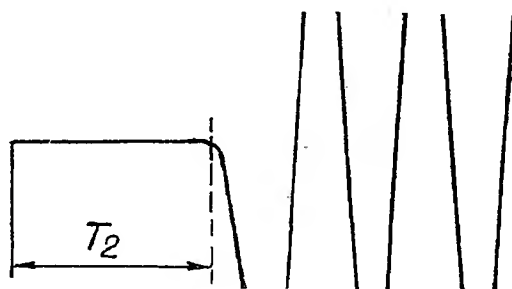


Figura 7.5 - Măsurătoarea de timp la amplitudine maximă

7.2.4.3. Influențe ale condițiilor de încercare

Rezultatele măsurătorii timpului de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton pot fi influențate de unele condiții de încercare ca: starea suprafeței betonului, umiditatea, temperatura betonului în timpul încercării, frecvența undelor longitudinale transmise, dimensiunile probelor și armătura existentă în elemente.

7.2.4.3.1. Încercările pentru evaluarea rezistenței betonului nu se efectuează în zone cu defecte sau degradări ale betonului (goluri, segregari, fisuri, etc.).

Pentru a reduce influența rugozității suprafeței betonului se introduce un strat cuplant de grosime variabilă între transductor și beton. Influența sa asupra rezultatului măsurătorii este cu atât mai mare cu cât rugozitatea suprafeței este mai mare, viteza în stratul cuplant mai mică, viteza în beton mai mare și distanța emițător-receptor mai mică.

Pentru a reduce influența stratului cuplant se recomandă realizarea următoarelor: prelucrare bună a suprafeței; distanțe relativ mari (peste 30 cm) între transductori (emițător-receptor); presiune semnificativă și uniform distribuită pe palpator în timpul măsurătorii; medii cuplante caracterizate prin viteze de propagare/impedanțe acustice mari.

Modul de alegere a suprafețelor de încercare (suprafețe laterale cofrate, suprafețe de fund cofrate sau suprafețe de turnare ale elementului) conduce la obținerea de viteze de propagare diferite la măsurători.

Fețele laterale ale elementelor de construcții constituie suprafețele cele mai omogene și mai reprezentative pentru calitatea betonului. Spre deosebire de acestea, suprafața de turnare este caracterizată printr-o viteză de propagare mai scăzută, ca urmare a efectului separării la suprafață a unui strat bogat în fracțiuni fine de agregat și lapte de ciment, sub acțiunea fenomenului de segregare. Investigarea acestei suprafețe trebuie evitată, pe cât posibil, în încercările cu ultrasunete. În cazul în care acest lucru nu este posibil se va asigura, în tehnica prin transmisie directă sau diagonală o grosime de beton de minimum 15 cm, iar în tehnica de suprafață o lungime de încercare de minimum 40 cm.

Suprafețele de fund ocupă o poziție intermediară între suprafețele laterale și cele de turnare. Încercările pentru evaluarea rezistenței betonului nu se efectuează în zone cu defecte sau degradări ale betonului (goluri, segregări, fisuri, etc.)

7.2.4.3.2. Viteza ultrasunetelor este influențată din punct de vedere chimic și fizic de umiditatea betonului. Aceste efecte sunt importante pentru estimarea rezistenței betonului. Între un specimen sub formă de cub sau cilindru tratat corespunzător și aceeași compoziție de beton dintr-un element structural pot fi diferențe importante ale vitezei ultrasunetelor. Aceste diferențe se datorează efectului condițiilor diferite de tratare a betonului care produc niveluri diferite de hidratare a cimentului și apariției apei libere în pori.

7.2.4.3.3. Măsurătorile de viteză de propagare efectuate între + 10⁰ C și +30°C pot fi considerate independente de temperatură. În afara acestui interval influența temperaturii asupra măsurătorii nu mai poate fi neglijată și, în funcție de umiditatea betonului, se recomandă aplicarea corecțiilor din tabelul 7.6.

Deoarece pe măsură ce temperatura crește, viteza de propagare scade, iar pe măsură ce temperatura scade, viteza de propagare crește, corecțiile au ca scop anularea acestei variații.

Tabelul 7.6 Corecții de temperatură ale vitezei de propagare V_L

Temperatura °C	Corecția %	
	Beton uscat în aer	Beton saturat în apă
+60	+5	+4
+40	+2	+1,7
+20	0	0
0	-0,5	-1
<-4	-1,5	-7,5

7.2.4.3.4. Lungimea traiectoriei impulsului influențează rezultatele măsurătorilor pe distanțe mici, când predominantă este propagarea rapidă în lungul agregatelor mari, caracterizate prin viteze de propagare mari.

Această influență poate fi evitată prin depășirea considerabilă a limitei prezentate în relația (7.15).

De asemenea, pe distanțe mici trebuie evitate măsurătorile în câmp apropiat conform relației (7.14).

O altă influență a lungimii traiectoriei se manifestă în domeniul distanțelor mari, atunci când este folosită tehnica de măsurare la amplitudinea maximă. În acest caz pe măsură ce distanța emițător receptor crește, scade amplitudinea semnalului recepționat și, deci, sosirea lui este apreciată mai târziu.

În vederea evitării acestui neajuns se recomandă măsurătorile la amplitudinea constantă, standardizată. În acest caz, influența dimensiunilor transversale a și b ale epruvetei rămâne destul de mică încă până la limita

$$a \text{ și } b \geq \lambda \text{ (pentru 50 kHz de cca. 8 cm)} \quad (7.19)$$

astfel încât, dacă se admit erori de viteză până la 3% corecțiile pot fi neglijate. Se atrage atenția că erori datorate numai acestui factor conduc, totuși, la erori de estimare a rezistenței, de până la 12%.

Dacă se coboară sub limitele relației (7.19) se intră într-un domeniu de tranziție între condițiile de propagare în mediu infinit și cele în plăci sau bare.

Întrucât atingerea condițiilor ideale de propagare în bare sau plăci presupune:

$$a \text{ sau } b \leq 0,2 \lambda \text{ (pentru 50 kHz de cca. 8 cm)} \quad (7.20)$$

în cazul betonului, aceasta nu se realizează practic niciodată. Singura soluție ce se impune este evitarea domeniului mărginit superior de relația (7.19).

Dacă dimensiunea minimă a probei este mai mică decât lungimea de undă, modul de propagare se schimbă și viteza măsurată poate fi diferită.

În tabelul 7.7 se prezintă efectul dimensiunilor epruvetelor asupra transmisiei ultrasunetelor.

Tabelul 7.7 Efectul dimensiunilor epruvetelor asupra transmisiei ultrasunetelor

Frecvența transductorului (kHz)	Viteza ultrasunetelor în beton (Km/s)		
	3,50	4,00	4,50
	Dimensiunea minimă recomandată a epruvetei (mm)		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

7.2.4.3.5. Frecvența proprie a transductorilor exercită două tipuri de influențe: una indirectă prin modificarea limitei rezultate din relația (7.19), în cadrul dispersiei geometrice și a condițiilor de câmp îndepărtat; alta directă, datorită dispersiei fizice.

În scopul limitării influenței dispersiei fizice, în cazul betonelor se recomandă utilizarea domeniului de frecvență al transductoarelor în conformitate cu 7.2.4.1.

Distanța de măsurare trebuie să aibă o dimensiune minimă în funcție de dimensiunea maximă a agregatelor. Se recomandă ca distanța minimă să fie 100 mm pentru betonul preparat cu agregate având dimensiunea maximă de până la 20 mm, respectiv 150 mm pentru betonul preparat cu agregate având dimensiunea maximă între 20 și 40 mm.

7.2.4.3.6. Viteza de propagare măsurată în beton, în vecinătatea barelor de armătură, poate fi influențată de existența acestora, ca urmare a propagării parțiale a impulsului prin armătură. Acestui fapt se datorează obținerea de viteze de propagare superioare în armătură față de cea din beton (în mod obișnuit de 1,2- 1,8 mai mare).

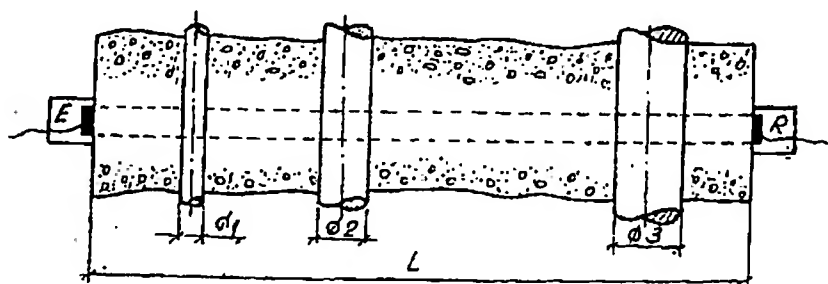


Figura 7.6 - Bare de armătură perpendiculare pe direcția de încercare

Armăturile transversale pe direcția de măsurare reprezintă cazurile cele mai frecvente întâlnite, în cazul încercărilor pe stâlpi și grinzi.

În cazul unei măsurători axate față de planul barelor de armătură ca în figura 7.6, viteza de propagare reală a ultrasunetelor în beton (V_B) rezultă în funcție de viteza aparent măsurată, fără a se ține seama de existența armăturilor (V), și se determină cu relația:

$$V_B = V \frac{\left(1 - \frac{L_a}{L}\right)}{\left(1 - \frac{L_a V}{L V_a}\right)} \quad (7.21)$$

în care:

V_a este viteza de propagare a ultrasunetelor în armătură;

$L_a = \sum \Phi_i$ lungimea traseului impulsului parcurs prin armătură;

L distanța emițător-receptor.

Încercările au arătat că formula (7.21), deși teoretic corectă, nu se verifică integral în practică. Cauzele acestor neconcordanțe sunt generate de: stratul de beton ce înconjoară armătura înglobată, alinierea barelor, efectul dispersiei fizice, etc. Pe baza încercărilor efectuate, valorile factorilor de corecție k_T care se utilizează pentru determinarea vitezei de propagare în beton cu:

$$V_B = k_T V \quad (7.22)$$

în care:

V_B viteza reală de propagare în beton și

V viteza de propagare măsurată

sunt date în tabelele 7.8 - 7.10 pentru betoane caracterizate prin diferite viteze de propagare.

Tabelul 7.8 Valori k_T ($V_B = 3500$ m/s)

L_a/L	$\phi_{arm} (mm)$					
	6	10	16	20	25	32
0	1	1	1	1	1	1
0,10	1	1	1	0,99	0,98	0,97
0,25	1	1	1	0,97	0,96	0,95
0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92

Tabelul 7.9 Valori k_T ($V_B = 4000$ m/s)

L_a/L	$\phi_{arm} (mm)$					
	6	10	16	20	25	32
0	1	1	1	1	1	1
0,10	1	1	1	1	0,99	0,95
0,25	1	1	1	1	0,98	0,96
0,50	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94

Tabelul 7.10 Valori k_T ($V_B = 4500$ m/s)

L_a/L	$\phi_{arm} (mm)$					
	6	10	16	20	25	32
0	1	1	1	1	1	1
0,10	1	1	1	1		0,99
0,25	1	1	1	1		0,98
0,50	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95

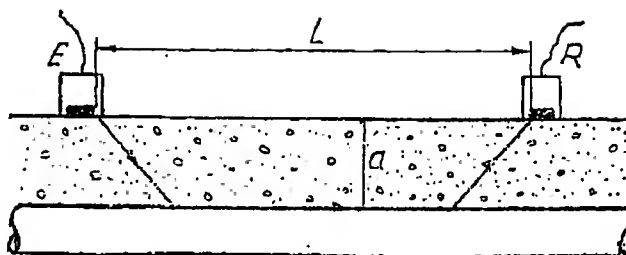


Figura 7.7 a- Schema de propagare pentru bară de armătură paralelă cu direcția de încercare, în tehnica de suprafață

Pentru betoane ce au viteze de propagare intermediare se va interpola liniar. Se remarcă că aceste valori sunt totdeauna mai apropiate de unitate decât cele prevăzute de relația teoretică (7.21), iar corecții semnificative nu apar decât de la bare cu diametrul mai mare de 20 mm și pentru trasee cumulate în armături mai mari de 1/4 din parcursul total al impulsului.

Armătura paralelă cu direcția de propagare a impulsului are o influență asupra rezultatului măsurătorii numai dacă distanța a între dreapta emițător-receptor și axa armăturii (fig. 7.7 a) îndeplinește-condiția:

$$\frac{a}{L} < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V_a - V_B}{V_a + V_B}} \quad (7.23)$$

L este distanța emițător-receptor;
 V_a viteza de propagare în armătură;
 V_B viteza de propagare în beton.

În cazul în care armătura are o influență asupra rezultatului măsurătorii, viteza reală de propagare în beton V_B se calculează cu relația:

$$V_B = k_L V \quad (7.24)$$

în care:

k_L este coeficientul de corecție datorat influenței armăturilor longitudinale;
 V_B viteza de propagare a impulsurilor ultrasonice măsurată.

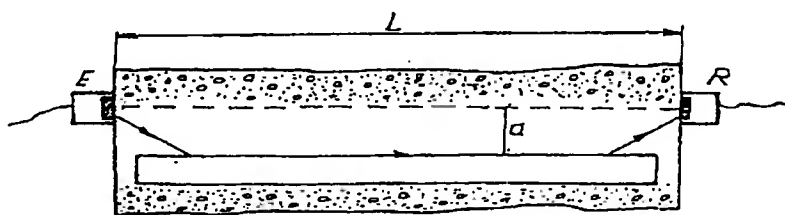


Figura 7.7 b - Schema de propagare pentru bară de armătură paralelă cu direcția de încercare, în tehnica transmisiei directe

Valorile coeficientului de corecție k_L pentru betoane caracterizate prin diferite viteze de propagare sunt date în tabelele 7.11 - 7.13 Pentru betoane caracterizate prin viteze intermediare se va interpola liniar.

Corecțiile sunt neglijabile pentru valori ale distanței a mai mari, în general, de $0,2L$.

Tabelul 7.11 Valori k_L ($V_B = 3500$ m/s)

a/L	$\phi_{arm} (mm)$					
	6	10	16	20	25	32
0	0,69	0,68	0,66	0,64	0,63	0,61
0,05	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70	0,69
0,10	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77
0,15	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85
0,20	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,93
0,25	1	1	1	1	1	1

Tabelul 7.12 Valori k_L ($V_B = 4000$ m/s)

a/L	ϕ_{arm} (mm)					
	6	10	16	20	25	32
0	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
0,05	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
0,10	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83
0,15	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91
0,20	1	1	1	1	0,99	0,98

Tabelul 7.13 Valori k_L ($V_B = 4500$ m/s)

a/L	ϕ_{arm} (mm)					
	6	10	16	20	25	32
0	0,89	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78
0,05	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84
0,10	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90
0,15	1	1	1	0,99	0,98	0,97
0,20	1	1	1	1	1	1
0,25	1	1	1	1	1	1

La elemente armate pe două sau trei direcții, dacă încercările se fac pe una din direcțiile de armare, influența predominantă este de regulă cea a armăturii longitudinale față de direcția de propagare și aceasta trebuie calculată.

La plăcile armate pe două direcții, direcțiile de încercare în metoda de suprafață se recomandă să fie orientate la 45° față de cele două direcții de armare rectangulare. Distanța minimă de la punctul de intersecție al diagonalelor la primul punct de măsurare va fi de minimum 30 cm, iar distanța între celelalte puncte va fi aleasă de 10 cm. În acest caz, pentru betoane caracterizate prin viteze de propagare longitudinală superioare valorii de 3700 m/s, armătura nu influențează rezultatul măsurătorii.

7.2.4.4. Modalitatea de prelucrare a rezultatelor obținute utilizând această metodă simplă de încercare pentru evaluarea rezistenței betonului este prezentată la cap.8.

Aplicarea metodei ultrasunetelor pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din construcțiile existente se va face numai în combinație cu alte metode indirecte nedistructive (metoda nedistructivă combinată) sau corelată cu metoda carotelor.

7.3. Metoda de duritate superficială

7.3.1. Considerații generale

7.3.1.1. Încercările realizate utilizând metoda de duritate superficială sunt încercări nedistructive și se efectuează în conformitate cu SR EN 12504-2.

Metoda se bazează pe măsurarea reculului pe care un corp mobil îl suferă, în urma impactului cu suprafața betonului din elementul de încercat. Indicele de recul este un indicator al durității superficiale a betonului și poate fi folosit pentru evaluarea omogenității betonului, delimitarea zonelor/suprafețelor de calitate slabă sau a deteriorărilor.

7.3.2. Domeniu de aplicare

7.3.2.1. Prezentul normativ stabilește regulile de efectuare a măsurătorilor cu aparatură specifică (sclerometru) și de interpretare a rezultatelor încercărilor efectuate prin metoda de duritate superficială pentru determinarea rezistenței betonului numai în combinații cu alte metode nedistructive sau distructive.

Informațiile obținute se referă, în principal, la calitatea betonului, în primii 2-3 cm de la suprafața acestuia.

7.3.2.2. Metoda este contraindicată pentru investigarea de:

- elemente la care calitatea betonului din stratul de suprafață este diferită de cea din straturile profunde (elemente supuse acțiunilor agresive chimice/fizice de suprafață, elemente multistrat, etc);
- elemente care conțin defecte interne/de suprafață în zonele respective;
- elemente la care vârsta betonului a depășit 6 luni, la care există o diferență sensibilă între duritatea stratului de suprafață carbonatat și cea a straturilor profunde;
- betoanele confecționate cu dozaje sub 200 kg/m^3 ;
- elemente subțiri, de mare flexibilitate ($b < 10 \text{ cm}$), la care o parte din energia incidentă poate fi transferată elementului sub formă de energie de deformare la încovoiere;
- elemente masive ($b > 100 \text{ cm}$) la care estimarea calității întregului element nu se poate face pe baza estimării calității unui strat superficial de 2 cm grosime;
- elemente la care nu este asigurat accesul decât pe fața de turnare și la care nu există posibilitatea înlăturării unui strat de cel puțin 10 mm pentru obținerea unei suprafețe fără rugozități pentru încercare;
- elemente care stau într-o atmosferă ce influențează asupra durității lor superficiale (de ex. bogată în CO_2);
- elemente realizate cu beton macroporos (cu structură a suprafeței deschisă).

7.3.2.3. Avantajale utilizării metodei de duritate superficială sunt: simplitatea încercării, costul redus al aparaturii, economia de energie, rapiditatea încercării.

7.3.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări

7.3.3.1. Elementele și zonele de încercare ale acestora sunt stabilite de către proiectant/expert în funcție de situație.

7.3.3.2. Alegerea zonelor de încercare pe element se face respectând următoarele recomandări:

- a) evitarea feței de turnare și, dacă este posibil, și a feței opuse acesteia;
- b) evitarea zonelor cu defecte de suprafață (zone macroporoase, fisuri, rosturi);
- c) evitarea zonelor unde sunt poziționate armături îndeosebi când acestea sunt apropiate de suprafața betonului ($d < 3 \text{ cm}$);
- d) evitarea zonelor adiacente muchiilor;
- e) evitarea suprafețelor pe care există incluziuni de corpuri străine (așchii de cofraj, pământ, praf, etc).

7.3.3.3. O zonă de încercare are suprafață cuprinsă între $200 - 400 \text{ cm}^2$ (între $14 \times 14 \text{ cm}$ și $20 \times 20 \text{ cm}$).

Se utilizează minimum nouă citiri pentru a se obține o estimare fiabilă a indicelui de recul pentru suprafața de încercat.

7.3.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

7.3.4.1. Aparatura de încercare este reprezentată de sclerometre de diferite tipuri și dimensiuni în funcție de clasa de rezistență a betonului care se încearcă. Fiecare tip și dimensiune de sclerometru trebuie utilizate numai pentru betonul a cărei clasă de rezistență corespund utilizării pentru care a fost destinat acesta.

Modul de funcționare a aparaturii este, în principiu, următorul: sub acțiunea unui sistem de resorturi, un corp mobil lovește, prin intermediul unei tije de percuție, suprafața betonului. În urma impactului corpul prezintă un recul antrenând un cursor ce indică mărimea reculului pe o scară gradată.

7.3.4.2. Înainte de se efectua încercări pe suprafață betonului, trebuie să se efectueze încercări de control și să se înregistreze citiri prin utilizarea unei nicovale de calibrare și să se asigure ca rezultatele obținute sunt cuprinse în intervalul de valori recomandate de producător. În caz contrar, sclerometru se curăță și/sau se ajustează.

Nicovala de oțel pentru calibrarea sclerometrului este caracterizată de următoarele: duritate de minimum 52 HRC; masă de (16 ± 1) kg; diametru de aproximativ 150 mm.

La fiecare minimum 2000 lovituri, sau în conformitate cu indicațiile producătorului, se recomandă curățarea și întreținerea sclerometrului. O atenție deosebită trebuie acordată păstrării aceluiași coeficient de frecare pe suprafața cursor-tijă de glisare a cursorului.

7.3.4.3. Pregătirea unei zone pentru încercare constă din:

- îndepărtarea pojghiței de lapte de ciment separată la compactarea betonului;
- îndepărtarea rugozităților existente pe suprafața betonului în vederea asigurării gradului de netezire corespunzător;
- identificarea porilor aparenti/existenți sub pojghița de lapte de ciment pentru evitarea acestora;
- identificarea eventualelor agregate mari detectate pe suprafață pentru evitarea acestora.

7.3.4.4. Pregătirea suprafeței de încercat se face prin frecare cu piatră de duritate mare (carborundum). Grosimea stratului îndepărtat bine trebuie să fie de minimum 1 mm. După polizare, suprafața se curăță de praful rezultat prin suflare.

7.3.4.5. Numărul loviturilor aplicate într-o zonă va fi ales, astfel încât, să se obțină minimum 9 rezultate valabile.

7.3.4.6. Distanța minimă între punctele de încercare ale aceleiași zone este de 25 mm. Distanța minimă între punctele de încercare și muchia elementului este de 50 mm.

Pentru stabilirea punctelor de încercare se trasează o rețea de linii uniforme de la 25 mm la 50 mm la intersecțiile cărora se poziționează punctele de încercare. Se examinează fiecare amprentă lasată pe suprafața după contact și, dacă se observă că a spart/perforat suprafața aproape de un gol de aer, rezultatul nu se ia în considerare.

7.3.4.7. Elementele la care condițiile de întărire sunt diferite pe cele două fețe opuse se vor încerca pe ambele fețe.

7.3.4.8. Se recomandă ca zonele de încercare să fie alese pe suprafețele cofrate ale elementului.

7.3.4.9. Sclerometrul trebuie să se utilizeze conform instrucțiunilor de utilizare prescrise de producător (poziționare pe suprafața elementului încercat, armarea/ declanșarea/ citirea aparatului).

7.3.4.10. Sclerometrul trebuie să fie acționat de cel puțin trei ori înainte de a se proceda la citirea unei serii de rezultate.

7.3.4.11. Sclerometrul trebuie să se utilizeze la o temperatură cuprinsă între 10^0 C și 35^0 .

7.3.4.12. Încercările pe alte suprafețe decât cele verticale au nevoie de corecții de unghi în conformitate cu specificațiile producătorului.

Pentru sclerometre de tip N pot fi utilizate datele prezentate în tabelul 7.14 și figura 7.8 pentru diferite configurații (a...f) ale suprafețelor elementelor încercate.

Tabelul 7.14 Corecții de unghi

α/N	De jos în sus		De sus în jos	
	$+90^0$	$+45^0$	-90^0	-45^0
10	-	-	2,7	3,5
20	-5,4	-3,5	2,5	3,4
30	-4,7	-3,1	2,3	3,1
40	-3,9	-2,6	2,0	2,7
56	-3,1	-2,1	1,6	2,2
60	-2,3	-1,6	1,3	1,7

SEMNULE UNGHIIURILOR α .

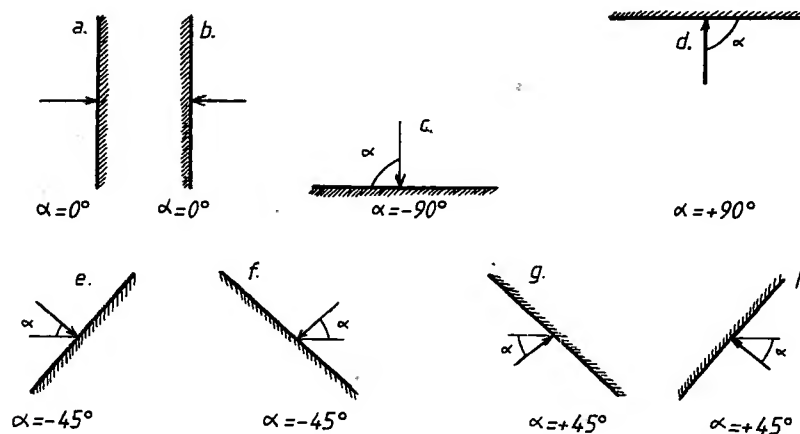


Figura 7.8 - Semnul unghiurilor

7.3.4.13. După realizarea încercărilor, se efectuează citiri cu ajutorul nicovalei de calibrare, se înregistrează și se compară cu valorile citite înaintea încercării. Dacă rezultatele diferă, se curăță și/sau ajustează sclerometrul și se repetă încercările.

7.3.4.14. Rezultatul încercării trebuie să fie considerat ca medie a tuturor citirilor efectuate, eventual corectate pentru a lua în considerare orientarea sclerometrului conform instrucțiunilor prescrise de producător și se exprimă sub formă de număr întreg. Dacă mai mult de 20% din totalul citirilor efectuate pe o suprafață de încercat diferă de valoarea medie cu mai mult de

șase unități, întregul set de citiri nu va fi luat în considerare. În cazul în care se utilizează mai multe aparate, se recomandă să se realizeze un număr suficient de încercări pe suprafețe de beton similare, pentru a se determina variația rezultatelor obținute.

Măsurătorile efectuate într-o zonă constituie o mulțime căreia i se calculează intervalul conform relației:

$$\Delta N = N_{max} - N_{min} \quad (7.25)$$

Dacă acest interval satisface inegalitatea:

$$\Delta N \leq 5 \text{ div.} \quad (7.26)$$

atunci toate încercările pot fi considerate valabile și pot fi introduse în calculul mediei pe zonă.

Dacă intervalul:

$$\Delta N > 5 \text{ div.} \quad (7.27)$$

și mai puțin de 20% din totalul citirilor efectuate pe o suprafață de încercat diferă de valoarea medie cu mai mult de șase unități este necesară o prelucrare selectivă.

Prima etapă a procesului constă în verificarea faptului că nicio încercare nu a fost efectuată în dreptul unui por. În acest scop, în cadrul unor încercări ordonate după mărimea lor în șirul N_1, N_2, N_3 , se calculează intervalul și se verifică inegalitatea:

$$N_3 - N_1 \leq 2 \quad (7.28)$$

care, dacă este îndeplinită, este practic sigur că valoarea minimă obținută reprezintă rezultatul unei încercări în dreptul unui por.

Dacă este satisfăcută inegalitatea:

$$N_3 - N_1 > 3 \quad (7.29)$$

este aproape cert că valoarea minimă N_1 este rezultatul unei încercări în dreptul unui por și trebuie eliminată.

Dacă condiția 7.28 este îndeplinită și $\Delta N > 5 \text{ div.}$, este cert că valorile maxime trebuie eliminate până se ajunge la respectarea condiției (7.26). Numărul valorilor valabile rămase în calculul mediei trebuie să fie minimum 9.

Indicele de recul mediu pe zonă se calculează cu relația:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{k} \quad (7.30)$$

Dacă încercările nu au fost aplicate pe suprafețe verticale trebuie aplicate corecțiile de unghi în conformitate cu pct. 7.3.4.12. Valorile se rotunjesc la o diviziune.

7.3.4.15. Modalitatea de prelucrare a rezultatelor obținute utilizând această metodă de încercare pentru evaluarea rezistenței betonului este prezentată la cap.8.

Întrucât estimarea rezistenței utilizând această metoda simplă nu este recomandată, aplicarea metodei de duritate superficială pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din construcțiile existente se va face numai în combinație cu alte metode indirecte nedistructive (metoda nedistructivă combinată) sau corelată cu metoda de încercare a carotelor.

7.4. Încercarea betonului prin metoda nedistructivă combinată

7.4.1. Considerații generale

7.4.1.1. Metoda se bazează pe legătura care există între combinația celor două mărimi fizice măsurate: viteza longitudinală a ultrasunetelor și indicele de recul pe de o parte, și rezistența betonului la compresiune, pe de altă parte. Această corelație ține seama de unele date ale compoziției betonului încercat.

7.4.2. Domeniu de aplicare

7.4.2.1. Metoda nedistructivă combinată se recomandă a fi utilizată în următoarele cazuri:

- determinarea rezistenței betonului în structuri și elemente de construcții pe șantier sau în fabrici de prefabricate;
- urmărirea întăririi betonului în condiții normale, accelerate sau întârziate.

Metoda nedistructivă combinată prezintă o egală eficiență în determinarea rezistențelor betonului indiferent de clasa betonului examinat.

7.4.2.2. Metoda nedistructivă combinată nu se recomandă a fi aplicată în următoarele cazuri:

- în zonele cu defecte locale de turnare, ascunse sau aparente (segregări, rosturi, goluri);
- în zonele fisurate sau microfisurate;
- în zonele în care nu există o concordanță între calitatea betonului din stratul de suprafață și cel de adâncime (exemplu: turnări în mai multe straturi de betoane cu calități diferite, betoane degradate superficiale, etc);
- în zonele cu aglomerări de armături, îndeosebi când acestea sunt paralele cu direcția de încercare cu direcția de încercare cu ultrasunete sau foarte apropiate de aria pe care au loc încercările cu sclerometrul prin metoda de duritate de superficială;
- la mai puțin de 6-8 cm de muchia elementului de construcție;
- la betoane de clasa sub C 2,8/3,5.

7.4.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări

7.4.3.1. Alegerea elementelor și zonelor de încercat se face de către proiectant/expert în funcție de situație.

7.4.3.2. Pentru fiecare element încercat se aleg cel puțin 3 secțiuni diferite pentru examinare. În fiecare secțiune trebuie să existe cel puțin 3 perechi de puncte de încercare cu ultrasunete și o zonă de 20 X 20 cm cu cel puțin 9 puncte de încercare cu sclerometrul. Rezultatele obținute într-o secțiune sunt reprezentative pentru volumul de beton cuprins între 2 secțiuni paralele cu cea de încercare, situate la ± 10 cm de aceasta. Pentru determinarea rezistenței caracteristice a betonului sunt necesare un număr minim de 15 puncte de măsurare.

Dacă betonul pe lungimea/înălțimea elementului apare ca neomogen, numărul secțiunilor de încercare va fi mărit în mod corespunzător.

7.4.3.3. Alegerea perechilor de puncte în secțiune pentru încercările cu ultrasunete și prelucrarea suprafeței betonului în dreptul acestor puncte se vor face conformitate cu prevederile pct. 7.2.3.

7.3.3.4. Alegerea zonei și a punctelor de încercare în secțiune pentru măsurătorile cu sclerometrul, precum și prelucrarea suprafeței betonului în aceste zone se vor face în conformitate cu prevederile pct. 7.3.3.

7.4.4. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

7.4.4.1. Aparatura de încercare pentru metoda nedistructivă combinată este compusă din:

- aparatura pentru măsurarea vitezei de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton prezentată la pct.7.2.4;
- aparatura pentru măsurarea durtății superficiale a betonului cu ajutorul indicelui de recul.

Aparatura pentru măsurarea vitezei de propagare a impulsurilor ultrasonice în beton trebuie să fie în conformitate cu cea prezentată la pct. 7.2.4

Aparatura pentru determinarea durtății superficiale a betonului este sclerometrul în conformitate cu prevederile pct. 7.3.4.

7.4.4.2. Măsurarea timpului de propagare T se va face în conformitate cu prevederile pct. 7.2.4.2.

Determinarea vitezei de propagare longitudinală a impulsului V_L se face cu relația:

$$V_L = L/T \quad (7.31)$$

în care:

L - este distanța între emițător și receptor măsurată cu o precizie de 1%.

Dacă L este introdus în cm, iar T în microsecunde, pentru ca rezultatul să fie exprimat în m/s, trebuie multiplicat cu 10^4 .

Măsurarea indicelui de recul inclusiv aplicarea corecțiilor de unghi se face în conformitate cu prevederile pct. 7.3.

7.4.4.3. Atât încercările cu ultrasunete, cât și cele cu sclerometrul vor evita să folosească ca suprafață de încercare suprafața de turnare a betonului.

7.4.4.4. Rezultatul unei singure măsurători cu sclerometrul sau cu ultrasunete, nu poate constitui un element de calcul direct în metoda combinată.

Pentru măsurătorile cu ultrasunete, valoarea de calcul o constituie de regulă media a cel puțin 3 măsurători apropiate, situate în aceeași secțiune, și o singură măsurătoare din secțiune în cazul evaluării rezistenței caracteristice a betonului dintr-un singur element, numărul minim de puncte fiind de 15.

Pentru măsurătorile cu sclerometrul, valoarea de calcul o constituie media a cel puțin 9 măsurători reprezentative pentru aceeași zonă, care întrunesc criteriile impuse de pct. 7.3.

7.4.4.5. Atât măsurătorile de viteză de propagare în beton, cât și cele de indice de recul pe beton, se corectează în raport cu rezultatele încercărilor de etalonare pe bare, nicovale sau alte dispozitive etalon.

7.4.4.6. Efectuarea de încercări în afara intervalelor de temperatură indicate în pct. 7.2 și 7.3, impune corecții de temperatură pentru măsurătorile nedistructive, în conformitate cu prevederile prezentului normativ.

7.4.4.7. La aplicarea metodei medistructive combinate vor fi respectate toate cerințele referitoare la metodele simple, respectiv cele privind metoda ultrasunetelor și metoda durității superficiale prezentate la pct. 7.2 și 7.3.

7.4.4.8. Modalitatea de prelucrare a rezultatelor obținute utilizând metoda de încercare nedistructivă combinată pentru evaluarea rezistenței betonului este prezentată la cap.8.

7.5. Încercarea betonului prin metoda smulgerii în adâncime

7.5.1. Considerații generale

7.5.1.1. Încercările realizate utilizând smulgerii în adâncime sunt încercări semi-distructive și se efectuează în conformitate cu SR EN 12504-3.

Metoda se bazează pe pe determinarea forței de smulgere a unui disc metalic centrat pe o tijă, ambele fiind înglobate în beton (prin turnare sau ulterior).

7.5.2. Domeniu de aplicare

Prezentul normativ stabilește regulile de efectuare a măsurătorilor cu aparatură specifică pentru smulgerea în adâncime și metodologia de interpretare a rezultatelor pentru estimarea rezistenței la compresiune a betonului pe baza determinării forței de smulgere.

7.5.3. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

7.5.3.1. Aparatura de încercare constă dintr-un disc de diametru $d_1 = 25 \pm 0.1 \text{ mm}$ fixat pe o tijă având diametrul cel mult 0.6 din diametrul discului și lungimea măsurată de la suprafața betonului până la cea mai apropiată suprafață a discului egală cu diametrul discului. Smulgerea se realizează prin intermediul unui inel de smulgere fixat la suprafața betonului, centrat cu discul, având diametrul $d_2 = 55 \pm 0.1 \text{ mm}$.

Rezistența la compresiune a betonului se determină pe baza forței de smulgere calculate cu relația:

$$f_p = \frac{F}{A} \quad (7.32)$$

unde:

f_p este efortul unitar de smulgere în MPa;
 F forța de smulgere în N;
 A este suprafața de rupere, în mm^2 care se calculează cu relația:

$$A = 1/4\pi(d_2 + d_1) [4h^2 + (d_2 - d_1)^2]^{1/2} \quad (7.33)$$

în care:

d_1 este diametrul discului în mm;

d_2 diametrul inelului în mm;

h lungimea măsurată de la suprafața betonului până la cea mai apropiată suprafață a discului egală cu diametrul discului în mm.

7.5.3.2. Metoda smulgerii în adâncime nu poate fi utilizată ca metodă simplă de încercare pentru estimarea rezistenței betonului ci numai ca metodă indirectă asociată cu metoda de încercare a carotelor.

Modalitatea de prelucrare a rezultatelor obținute utilizând această metodă de încercare pentru evaluarea rezistenței betonului este prezentată la cap.8.

8. METODE DE EVALUARE A REZISTENȚEI BETONULUI

Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din construcțiile existente se poate face, în principal, prin aplicarea a trei metode în conformitate cu schema prezentată în figura 8.1:

- a) încercarea carotelor (8.1), în conformitate cu SR EN 13791;
- b) metode indirecte corelate cu încercarea carotelor (8.2), în conformitate cu SR EN 13791;
- c) metode nedistructive combinate (8.4).

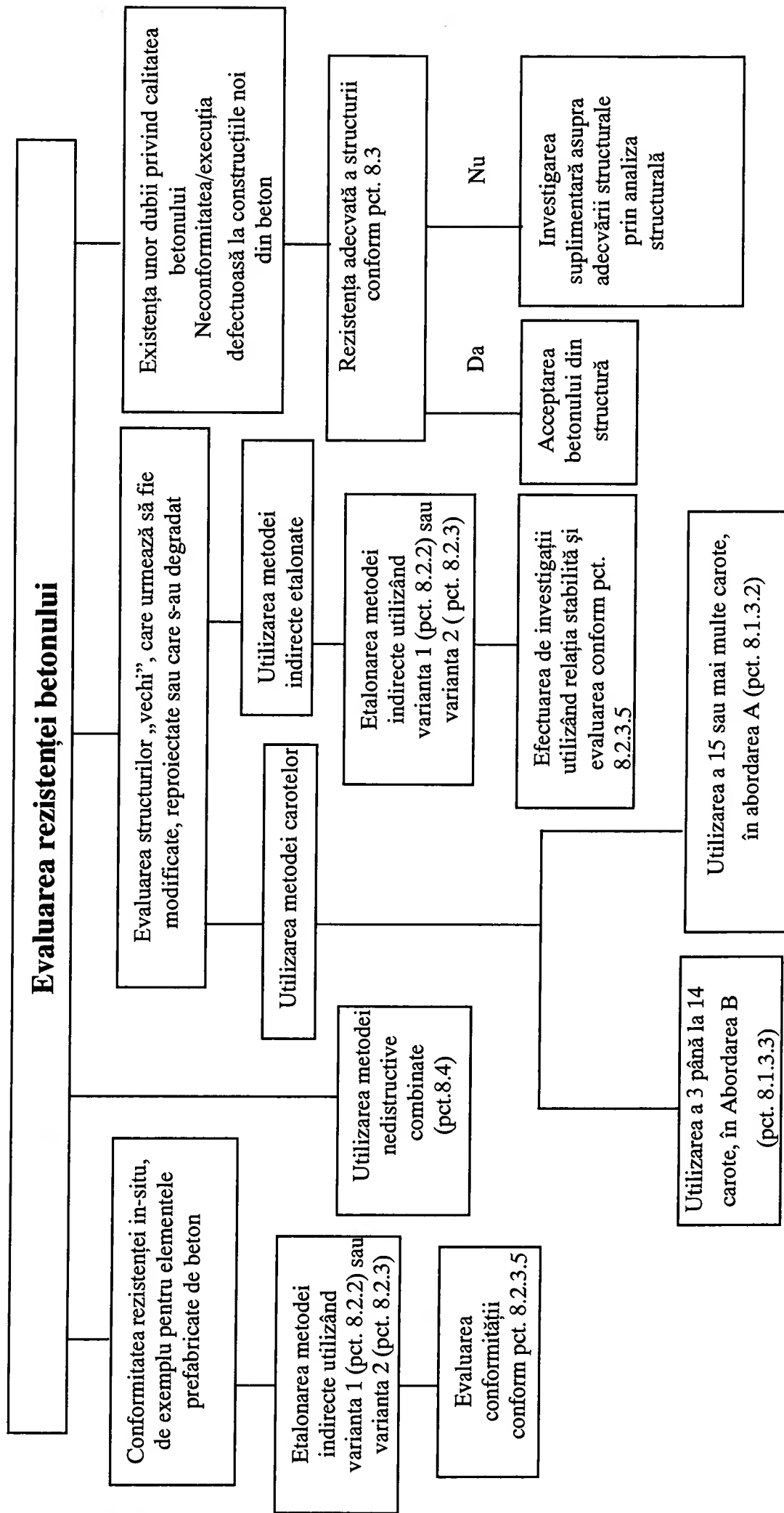


Figura 8.1 – Schemă cu metode de evaluare a rezistenței la compresiune a betonului din construcțiile existente (SR EN 13791)

8.1. Evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ prin încercarea carotelor

8.1.1. Epruvete

Carotele trebuie extrase, examinate și pregătite în conformitate cu SR EN 12504-1 și încercate în conformitate cu SR EN 12390-3. Carotele trebuie păstrate în condiții de laborator timp de cel puțin 3 zile înainte de încercare, exceptând cazurile când acest lucru nu este posibil. Dacă, din motive practice, cele 3 zile de păstrare nu sunt realizabile, se înregistrează perioada de păstrare și se evaluează. Influența acestei abateri de la procedura standardizată trebuie evaluată.

Factorii care influențează rezistența carotei sunt prezentați la pct. 7.1.

8.1.2. Număr de epruvete de încercat

Numărul de carote care urmează să fie extrase dintr-o zonă de încercare trebuie determinat în funcție de volumul de beton considerat și de scopul încercării carotelor în conformitate cu pct. 7.1.3.4. Fiecare poziție de încercare cuprinde o carotă.

Pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ, din motive statistice și de siguranță, se recomandă să fie utilizate, pe cât posibil, cât mai multe carote.

O evaluare a rezistenței la compresiune in-situ pentru o anumită zonă de încercare trebuie să se bazeze pe rezultatele obținute de la cel puțin 3 carote.

În scopul evaluării rezistenței betonului utilizând metoda carotelor, trebuie luate în considerare toate implicațiile structurale ce rezultă din extragerea acestora, în conformitate cu SR EN 12504-1.

8.1.3. Abordări de evaluare a rezistenței la compresiune in situ

8.1.3.1. Generalități

Rezistența caracteristică la compresiune in-situ se evaluează utilizând fie abordarea A prezentată la pct. 8.1.3.2, fie abordarea B prezentată la pct. 8.1.3.3.

Abordarea A se aplică atunci când sunt disponibile cel puțin 15 carote. Abordarea B se aplică atunci când sunt disponibile 3 până la 14 carote. Aplicabilitatea celor două abordări la evaluarea rezistenței betonului din structurile existente, despre care nu există cunoștințe prealabile, trebuie precizată la locul de utilizare.

8.1.3.2. Abordarea A

Rezistența caracteristică in-situ estimată a zonei de încercare este cea mai mică dintre valorile:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \times s \quad (8.1)$$

sau

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 \quad (8.2)$$

unde:

s este abaterea standard a rezultatelor încercării sau $2,0 \text{ N/mm}^2$, indiferent care valoare este mai mare;

k_2 se va considera o valoare de 1,48.

Clasa de rezistență se obține din tabelul 6.1, în funcție de rezistența caracteristică in-situ estimată.

NOTA 1 – Estimarea rezistenței caracteristice utilizând cel mai mic rezultat al încercării pe carote are în vedere faptul că cel mai mic rezultat al încercării pe carote reprezintă cea mai mică rezistență din structură/element component considerat.

NOTA 2 – Atunci când distribuția rezistenței carotei provine de la două populații de rezultate, zona de încercare poate fi divizată în două zone de încercare.

8.1.3.3. Abordarea B

Rezistența caracteristică in-situ estimată a zonei de încercare este cea mai mică dintre valorile:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad (8.3)$$

sau

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 \quad (8.4)$$

Valoarea limitei k depinde de numărul n de rezultate ale încercării și este dată în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1 – Limita k asociată unui număr mic de rezultate ale încercării

n	k
10 până la 14	5
7 până la 9	6
3 până la 6	7

NOTĂ - Datorită incertitudinii asociate unui număr mic de rezultate ale încercării, pe de o parte, dar și a necesității de a furniza același nivel de încredere, pe de altă parte, abordarea B oferă estimări ale rezistențelor caracteristice care sunt, în general, mai mici decât cele obținute în cazul în care există multe rezultate de încercare. Atunci când aceste estimări ale rezistenței caracteristice in-situ sunt considerate ca fiind prea larg estimate, se recomandă extragerea mai multor carote sau folosirea unei tehnici combinate (a se vedea pct. 8.4) pentru a obține mai multe rezultate de încercare. Din acest motiv, această abordare nu trebuie utilizată în cazurile în care există dubii privind calitatea betonului, bazate pe datele obținute din încercările standardizate (a se vedea pct. 8.3 pentru detaliile unei abordări adecvate).

8.2. Evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ prin metode indirecte

8.2.1. Generalități

8.2.1.1. Metode de evaluare

Încercările indirecte furnizează alternative la încercările directe (încercări pe carote) utilizate pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ a betonului dintr-o structură sau pot suplimenta datele obținute în cazul în care se dispune de un număr limitat de carote încercate.

Metodele indirecte sunt metode de natură nedistructivă sau semi-distructivă și pot fi folosite după etalonarea cu încercările pe carote, în următoarele moduri:

- separat;
- combinație de metode indirecte;
- combinație de metode indirecte și metode directe (încercări pe carote).

Întrucât la încercarea cu o metodă indirectă se măsoară o altă proprietate a betonului decât rezistența, pentru determinarea rezistenței la compresiune a betonului este necesară utilizarea unei relații între rezultatele încercărilor indirecte și rezistența la compresiune a carotelor.

Metodele alternative pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ sunt metodele indirecte prezentate la pct. 8.2.1.2 și 8.2.1.3 (variantele 1 și 2).

8.2.1.2. Varianta 1 – Corelație directă cu rezultatele încercărilor pe carote

La pct. 8.2.2 sunt prezentate procedurile aplicabile, în general, pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ, atunci când se stabilește pentru betonul examinat o relație specifică între rezistența la compresiune in-situ și rezultatul încercării prin metoda indirectă.

Varianta 1 necesită cel puțin 18 rezultate ale încercării pe carote pentru a stabili relația între rezistența la compresiune in-situ și rezultatul încercării prin metoda indirectă.

8.2.1.3. Varianta 2 – Etalonare pe baza rezultatelor încercărilor cu carote pentru un interval limitat al rezistenței, utilizând o relație stabilită

La pct. 8.2.3 sunt prezentate procedurile de evaluare a rezistenței in-situ în cadrul unui interval limitat de rezistențe, pe baza unei relații stabilite, adică o curbă de bază, împreună cu o deplasare a curbei de bază, stabilite prin intermediul încercărilor pe carote. Procedurile sunt descrise pentru încercările cu sclerometrul, încercările privind viteza de propagare a ultrasunetelor și încercările de smulgere.

8.2.2. Încercări indirecte corelate cu rezistența la compresiune in-situ (varianta 1)

8.2.2.1. Domeniu de aplicare

Prevederile pct. 8.2.2 sunt aplicabile metodelor indirecte de încercare pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ, atunci când pentru betonul in-situ este stabilită o relație prin intermediul încercărilor pe carote.

8.2.2.2. Procedura de încercare

Aparatura, procedura de încercare și exprimarea rezultatelor încercării trebuie să fie în conformitate cu SR EN 12504-1 pentru încercările pe carote și cu SR EN 12504-2, SR EN 12504-3 și SR EN 12504-4 atunci când se măsoară indicele de recul, forța de smulgere și viteza de propagare a undelor ultrasonice.

8.2.2.3. Stabilirea relației între rezultatul încercării și rezistența la compresiune in-situ

Pentru a stabili o relație specifică între rezistența la compresiune in-situ și rezultatul încercării prin metoda indirectă trebuie realizat un program complet de încercare.

Relația trebuie să se bazeze pe cel puțin 18 perechi de rezultate, 18 rezultate de la încercările pe carote și 18 rezultate de la încercările indirecte, care acoperă domeniul de interes.

NOTA 1 — O pereche de rezultate de încercare este formată dintr-un rezultat al încercării pe carotă și un rezultat al încercării indirecte din aceeași poziție de încercare.

NOTA 2 — Numărul de perechi de rezultate reprezintă un minimum, dar în multe cazuri este avantajos să se dispună de un număr considerabil mai mare de examinări în setul de date pentru a stabili o relație.

Stabilirea relației specifice include următoarele etape:

a) determinarea celei mai potrivite linii sau curbe prin analiza de regresie aplicată perechilor de date care se obțin în programul de încercare. Rezultatul încercării indirecte este considerat ca o variabilă, iar rezistența la compresiune in-situ estimată ca o funcție a acelei variabile;

NOTĂ — Datele utilizate pentru obținerea celei mai potrivite curbe sau linii ar trebui repartizate la distanțe egale, între limitele acoperite de date.

b) calcularea erorii standard a evaluării și determinarea limitelor de încredere pentru cea mai potrivită linie sau curbă, precum și limitele de toleranță pentru observațiile individuale;

c) determinarea relației ca fiind cuantilă de 10 % din valorile inferioare ale rezistenței.

NOTĂ — Relația care se utilizează pentru estimarea rezistenței oferă un nivel de siguranță în care 90 % din valorile rezistenței se așteaptă să fie mai mari decât valoarea estimată.

8.2.2.4. Evaluarea rezistenței la compresiune in-situ

Rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, f_{is} , se estimează plecând de la relația specifică stabilită.

Relația trebuie utilizată doar pentru estimarea rezistenței in-situ pentru betonul și condițiile specifice pentru care a fost stabilită aceasta. Relația specifică trebuie folosită numai în limitele intervalului acoperit de rezultatele de încercare.

Pentru evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ se aplică următoarele condiții:

- evaluarea pentru fiecare zonă de încercare trebuie să se bazeze pe cel puțin 15 poziții de încercare;

- abaterea standard trebuie să fie valoarea calculată plecând de la rezultatele încercării sau să fie egală cu $3,0 \text{ N/mm}^2$, indiferent care din acestea are valoarea mai mare.

Rezistența caracteristică la compresiune in-situ a zonei de încercare este cea mai mică dintre valorile:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s \quad (8.5)$$

sau

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 \quad (8.6)$$

unde

s este abaterea standard a rezultatelor încercării.

8.2.3. Utilizarea unei relații determinate plecând de la un număr limitat de carote și o curbă de bază (varianta 2)

8.2.3.1. Generalități

Încercările cu sclerometrul, încercările privind viteza de propagare a undelor ultrasonice și încercările de smulgere pot fi utilizate pentru evaluarea rezistenței la

compresiune in-situ utilizând o curbă de bază și efectuând deplasarea acesteia la un nivel adecvat, determinat pe baza încercărilor pe carotă.

Această tehnică poate fi utilizată pentru a evalua o populație care cuprinde betoane normale, preparate cu același tip de materiale și în cadrul aceluiaș proces de producție.

Pentru acesta se selectează o zonă de încercare dintr-o astfel de populație și cel puțin 9 perechi de rezultate ale încercării (rezultate de la încercarea pe carote și rezultate de la încercarea indirectă din aceeași poziție de încercare). Rezultatele se folosesc pentru a obține valoarea deplasării Δf cu care trebuie deplasată curba de bază pentru a stabili relația specifică dintre măsurătorile indirecte și rezistența la compresiune in-situ.

Pentru evaluarea rezistenței la compresiune in-situ se efectuează, apoi, încercări indirecte pe betonul specific. Relația stabilită se utilizează pentru a estima rezistența la compresiune in-situ și pentru a calcula, apoi, rezistența caracteristică la compresiune in-situ.

8.2.3.2. Procedură de încercare

Aparatura, procedura de încercare și exprimarea rezultatelor de încercare trebuie să fie în conformitate cu SR EN 12504 - 1, SR EN 12504 - 2, SR EN 12504 - 3 și SR EN SR 12504 - 4, după caz.

8.2.3.3. Metodă de evaluare

Pentru determinarea relației între metoda indirectă și rezistența la compresiune in-situ trebuie să se utilizeze următoarea procedură:

- a) Se selectează o zonă de încercare care să conțină cel puțin 9 poziții de încercare.
- b) Pentru fiecare poziție de încercare se obține câte un rezultat pentru încercarea cu sclerometrul (metoda de duritate superficială) în conformitate cu SR EN 12504-2, încercarea la forța de smulgere (metoda smulgerii în adâncime) în conformitate cu SR EN 12504-3 sau încercarea prin metoda a ultrasunetelor în conformitate cu SR EN 12504-4, după caz.
- c) Pentru fiecare poziție de încercare se extrage și se încearcă o carotă în conformitate cu SR EN 12504-1.
- d) Respectând principiile de stabilire a relației specifice redată în figura 8.2, se reprezintă grafic rezistența carotei in-situ (axa y) funcție de rezultatele obținute de la încercarea indirectă, pe copiile figurilor 8.3 până la 8.5, după caz.
- e) La fiecare poziție de încercare se determină diferența de rezistență in-situ între valoarea măsurată pe carotă și valoarea indicată de curba de bază, $\delta f = f_{is} - f_{R, v \text{ sau } F}$.
- f) Se calculează media $\delta f_{m(n)}$ pentru cele n rezultate și abaterea standard a eșantionului, s.
- g) Se calculează valoarea cu care trebuie deplasată curba de bază, Δf , astfel:

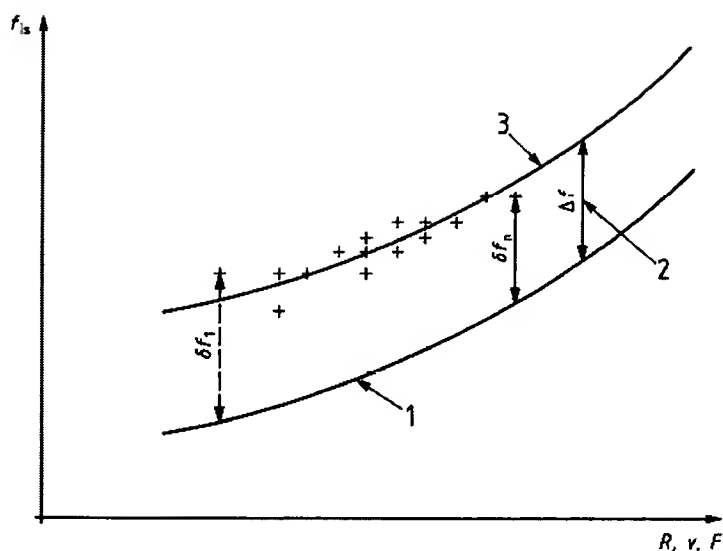
$$\Delta f = \delta f_{m(n)}, - k_1 \times s$$

unde

k_1 se obține din tabelul 8.2.

NOTĂ — Curba de bază a fost fixată în mod voluntar într-o poziție joasă pe axa y, astfel încât deplasarea să fie întotdeauna pozitivă.

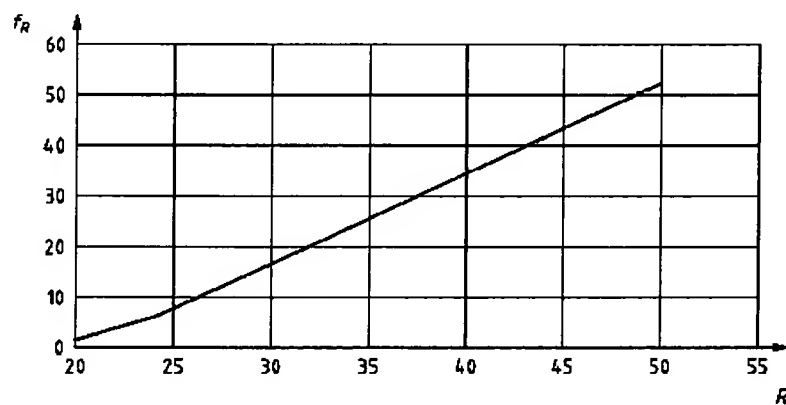
h) Se deplasează curba de bază cu Δf pentru a obține relația între metoda indirectă de încercare și rezistența la compresiune in-situ pentru betonul specific investigat.



LEGENDĂ:

- 1 Curba de bază
- $\delta f_{1..n}$ Diferența între rezistența fiecărei carote și valoarea rezistenței conform relației de bază
- 2 Deplasarea Δf a curbei de bază
- 3 Relația între metoda de încercare indirectă și rezistența la compresiune in-situ pentru betonul specific investigat
- R Indicele de recul în conformitate cu SR EN 12504-2
- F Forța de smulgere în conformitate cu SR EN 12504-3
- v Viteza de propagare a ultrasunetelor în conformitate cu SR EN 12504-4

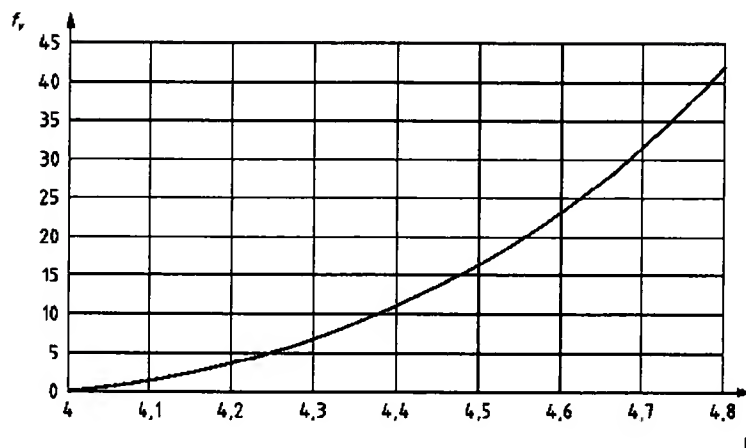
Figura 8.2 – Principiu pentru obținerea relației între rezistența la compresiune in-situ și rezultatele încercării indirecte (SR EN 13791)



LEGENDĂ:

- R Indicele de recul se determină în conformitate cu SR EN 12504-2

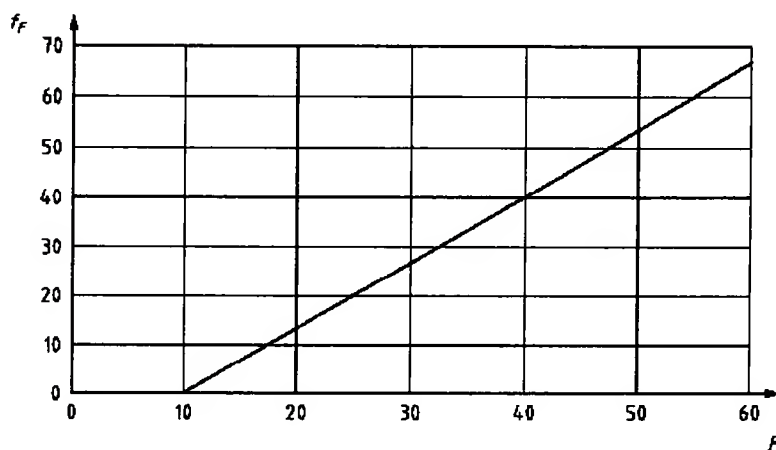
Figura 8.3 – Curba de bază pentru încercarea prin metoda de duritate superficială (SR EN 13791)



LEGENDĂ:

v viteza de propagare a ultrasunetelor în km/s în conformitate cu SR EN 12504-4

Figura 8.4 – Curba de bază pentru încercarea prin metoda ultrasunetelor (SR EN 13791)



LEGENDĂ:

F Forța de smulgeră în N în conformitate cu SR EN 12504-3

Figura 8.5 – Curba de bază pentru încercarea prin metoda smulgerii în adâncime (SR EN 13791)

NOTĂ - Curbele de bază din figurile 8.3, 8.4 și 8.5 (copiile lor mărite) pot fi folosite pentru calcule grafice.

Pentru calculele numerice, funcțiile matematice ale curbelor sunt următoarele:

a) Figura 8.3 – Indicele de recul (rezultatul încercării cu sclerometrul) măsurat prin metoda de duritate superficială:

$$f_R = 1,25 \times R - 23 \quad 20 \leq R \leq 24$$

$$f_R = 1,73 \times R - 34,5 \quad 24 \leq R \leq 50$$

b) Figura 8.4 – Viteza de propagare a ultrasunetelor măsurată prin metoda ultrasunetelor:

$$f_v = 62,5 \times v^2 - 497,5 \times v + 990 \quad 4 \leq v \leq 4,8$$

c) Figura 8.5– Forța de smulgere măsurată prin metoda smulgerii în adâncime:

$$f_F = 1,33 \times (F - 10) \quad 10 \leq R \leq 60$$

Tabelul 8.2 – Coeficientul k_1 în funcție de numărul de încercări cuplate

Numărul de rezultate ale încercărilor cuplate, n	Coeficient k_1
9	1,67
10	1,62
11	1,58
12	1,55
13	1,52
14	1,50
≥ 15	1,48

8.2.3.4. Valabilitatea relațiilor

Relația stabilită prin procedura precizată la pct. 8.2.3.3 poate fi utilizată în cadrul următoarelor intervale:

- ± 2 indice de recul în afara intervalului utilizat pentru a obține deplasarea;
- $\pm 0,05$ km/s în afara intervalului rezultatelor de la încercarea vitezei de propagare a undelor ultrasonice, utilizat pentru a obține deplasarea;
- $\pm 2,5$ kN în afara intervalului forței de smulgere, utilizat pentru a obține deplasarea.

8.2.3.5. Estimarea rezistenței la compresiune in-situ

Rezultatul încercării rezistenței la compresiune in-situ, f_{is} , se estimează din relația stabilită folosind procedura prezentată la pct. 8.2.3.3. Relația trebuie utilizată numai pentru estimarea rezistenței la compresiune in-situ pentru betonul și condițiile specifice pentru care a fost stabilită aceasta. Relația trebuie utilizată numai în cadrul intervalului pentru care este valabilă (a se vedea pct. 8.2.3.4).

Pentru evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ, se aplică condițiile și procedura precizate la pct. 8.2.2.4.

Evaluarea bazată pe încercarea carotelor cu lungime și diametru egal și pe utilizarea curbilor de bază prezentate în figurile 8.3, 8.4 și 8.5 generează o rezistență la compresiune in-situ echivalentă cu rezistența cubului.

După calcularea rezistenței caracteristice, clasa de rezistență la compresiune echivalentă, conform NE 012/1 poate fi evaluată folosind tabelul 6.1. Atunci când evaluarea se bazează pe încercarea carotelor cu un raport de 2:1 între lungime și diametru, având un diametru de cel puțin 50 mm, se folosește de asemenea tabelul 6.1 pentru a obține clasa de rezistență corespunzătoare.

Rezultatul real pe carotă poate fi convertit într-o rezistență echivalentă a unui cub in-situ sau a unui cilindru in-situ, utilizând prevederile pct. 7.1.

8.3. Evaluarea în cazurile în care conformitatea betonului bazată pe încercările standard prezintă dubii

Zonele de încercare la compresiune care includ un număr mare de șarje de beton cu 15 sau mai multe date obținute pe carote, pentru care:

$$f_{m(n),is} \geq 0,85 (f_{ck} + 1,48 \times s) \quad (8.7)$$

și

$$f_{is, \min} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (8.8)$$

pot fi considerate ca zone cu beton de rezistență adecvată, realizat în conformitate cu NE 012/1.

NOTĂ – Neconformitatea unei carote individuale poate indica o problemă locală, mai degrabă decât una globală.

Ca alternativă, în cazul în care există 15 sau mai multe date obținute de la încercări indirecte și cel puțin două carote luate din poziții care indică valorile mai mici ale rezistenței, dacă

$$f_{is, \min} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (8.9)$$

se poate considera că zona conține beton cu rezistență adecvată.

Într-o zonă mică, care conține una sau câteva șarje de beton, se pot alege două poziții relevante pentru luarea carotelor și, în condițiile în care

$$f_{is, \min} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (8.10)$$

se poate considera că zona conține beton cu rezistență adecvată.

În acest caz, dacă se consideră că zona de încercare conține beton cu rezistență adecvată, se va considera că betonul provine dintr-o populație conformă.

NOTĂ — Atunci când rezistența este mai mică de $0,85 (f_{ck} - 4)$, ipotezele de calcul nu sunt valabile și structura trebuie evaluată în ceea ce privește conformitatea structurală. O valoare mică a rezistenței in-situ poate fi cauzată de un număr de factori, inclusiv neconformitatea betonului cu specificațiile tehnice, compactarea insuficientă sau adaosul necontrolat de apă pe șantier. În vederea identificării factorilor care conduc la obținerea de valori mici, trebuie luate în considerare, următoarele: porozitatea betonului; armătura din carote; maturitatea carotei la momentul încercării.

8.4 Evaluarea rezistenței betonului prin metoda nedistructivă combinată (SONREB)

8.4.1. Determinarea rezistenței betonului prin metoda nedistructivă combinată este de o acuratețe ridicată, îndeosebi când variațiile de rezistență sunt provocate de o compactare inegală sau insuficientă a betonului, de nerespectarea raportului A/C prin variația apei de amestecare, de o maturizare în condiții necorespunzătoare, sau de variații ale umidității betonului.

Metoda nedistructivă combinată este de asemenea suficient de eficientă în cazurile când calitatea cimentului sau a agregatelor, inclusiv granulozitatea lor, au fost necorespunzătoare.

Metoda este mai puțin eficientă în cazul unor variații mari, necontrolate, ale calității cimentului fiind totuși, și în acest caz, superioară metodelor nedistructive simple.

8.4.2. Determinarea rezistenței betonului la compresiune prin metoda nedistructivă combinată necesită cunoașterea următoarelor date în legătură cu prepararea betonului:

- tipul și dozajul de ciment (Kg/m^3);
- natura și granulozitatea agregatului folosit.

8.4.3. Tipul de ciment este luat în considerare la determinarea rezistenței betonului cu ajutorul coeficientului de influență al cimentului C_c ale cărui valori sunt date în tabelul 8.3.

Tabelul 8.3 Valorile coeficientului C_c

Tip ciment	C_c
Ciment fără adaos de tip CEM I 52.5	1,09
Ciment fără adaos de tip CEM I 42.5	1,04
Ciment cu mai puțin de 20% adaosuri (ex. tip CEM II A)	1,00
Ciment cu adaosuri între 21% și 35% (ex. tip CEM II B, IVA, VA)	0,96
Ciment cu mai mult de 36% adaosuri (ex. tip CEM IIIA, IVB, VB)	0,90

8.4.4. Dozajul de ciment folosit la preparare este luat în considerare, la determinarea rezistenței betonului, cu ajutorul coeficientului de influență al dozajului C_d . Valorile acestui coeficient sunt date în tabelul 8.4.

Tabelul 8.4 Valorile coeficientului C_d

Dozaj ciment (kg/m^3)	C_d
200	0,88
300	1,00
400	1,13
500	1,25
600	1,31
NOTĂ - Pentru dozaje intermediare se interpolează liniar.	

8.4.5. Natura agregatului folosit la prepararea betonului este luată în considerare la determinarea rezistenței betonului cu ajutorul coeficientului de influență al naturii agregatului C_a .

Pentru betoanele cu următoarele agregate se recomandă valorile:

- agregat de râu de tip silico calcar $C_a = 1,00$
- agregat ușor de granulat simplu sau amestecat cu agregat de râu $C_a = 1,00$
- agregat greu de baritină sau amestecat cu agregat de râu $C_a = 1,00 + 0,9p$

în care:

p este procentul în volume din volumul total al agregatului, ocupat de agregatul greu.

Pentru betoanele realizate cu alte agregate coeficientul C_a se va determina experimental.

8.4.6. Granulozitatea agregatului este luată în considerare cu ajutorul a doi parametri:

a) dimensiunea maximă a agregatului căreia îi corespunde coeficientul de influență al dimensiunii maxime C_{ϕ} , ale cărui valori sunt date în tabelul 8.5.

- carote cu $d=10$ cm: +0,6%
- carote cu $d=7$ cm: +2,5%
- carote cu $d=5$ cm: +5,6%

b) Indicii de recul măsurați pe fața laterală a carotei se majorează cu 1...3 diviziuni în funcție de diametrul carotei (la diametre mai mari corespund majorări mai mici).

Cu ajutorul valorilor vitezelor de propagare și a indicilor de recul, astfel obținute, se determină valoarea $f_{c,ref}$ pentru fiecare probă i încercată. Totodată, se determină prin încercare la presă, rezistența efectivă a epruvetei i la compresiune. Folosind cele două valori ale rezistenței se calculează coeficientul experimental de influență al probei.

$$C_{ti}^{exp} = \frac{f_{c,exp.i}}{f_{c,ref.i}} \quad (8.13)$$

în care:

$f_{c,exp.i}$ reprezintă rezultatul încercării distructive pe corpul de probă, i .

Se calculează media valorilor experimentale pentru toate probele încercate, conform relației:

$$C_t^{exp} = \frac{\sum_{i=1}^k C_{ti}^{exp}}{k} \quad (8.14)$$

în care: k - reprezintă numărul epruvetelor disponibile.

8.4.11. Se compară valoarea C_t^{exp} cu valoarea calculată C_t^{real} și pot rezulta următoarele situații:

$$\text{Cazul a) } \frac{|C_t^{exp} - C_t^{calc}|}{C_t^{exp}} \leq 0,1 \quad (8.15)$$

În acest caz se consideră că valorile experimentale verifică datele de calcul și oricare dintre valorile de calcul/experimentale pot fi adoptate drept valori definitive. În principiu, o corectare a rezultatelor în acest caz nu este obligatorie.

$$\text{Cazul b) } 0,1 < \frac{|C_t^{exp} - C_t^{calc}|}{C_t^{exp}} \leq 0,3 \quad (8.16)$$

În acest caz există o diferență între valorile de calcul și cele experimentale, care se încadrează în precizia specifică metodelor combinate și, dacă nu există nici un motiv special de a prefera una din cele două valori, valoarea cea mai sigură pentru calculul final este dată de relația:

$$C_t = \frac{C_t^{calc} + 2C_t^{exp}}{3} \quad (8.17)$$

$$\text{Cazul c) } \frac{|C_t^{\text{exp}} - C_t^{\text{calc}}|}{C_t^{\text{exp}}} > 0,3 \quad (8.18)$$

În acest caz există o evidentă discordanță între rezultatele de calcul și cele experimentale și este necesară o analiză amănunțită a cauzelor, care au dus la aceste diferențe, în vederea eliminării rezultatului eronat. Dacă o asemenea analiză, nu duce la nici o concluzie se recomandă eliminarea valorii de calcul, utilizându-se valoarea determinată experimental.

8.4.12. Precizia metodelor nedistructive combinate (prin precizie se înțelege intervalul de abateri în care sunt cuprinse 90% din rezultatele experimentale) trebuie considerată de $\pm (15-20)\%$, în cazul în care elementele necesare ale compoziției betonului sunt corect cunoscute.

În cazul în care pe lângă compoziție se dispune de corpuri de probă sau carote, este de așteptat ca precizia metodei să fie de $\pm (10-15)\%$. Încercările pe carote se prelucrează conform prevederilor pct. 7.1.

În cazul în care compoziția betonului este necunoscută, sau greșit cunoscută și nu există epruvete sau carote, erorile pot atinge $\pm (25-35)\%$.

8.4.13. Valoarea coeficientului total de influență pentru clădirile de locuințe executate în perioada 1934-1940 se poate lua, cu caracter orientativ, ca fiind egală cu:

$$C_t = C_t^{\text{calc}} \times C_V = 1,15 \quad (8.19)$$

Pentru perioade ulterioare, asemenea precizări nu se mai pot face datorită, diversificării claselor de betoane și tipurilor de cimenturi utilizate.

8.4.14. Interpretarea rezultatelor încercărilor prin metoda combinată

Rezultatele obținute pe element/structuri din beton armat prin aplicarea metodei nedistructive combinate reprezintă rezistențe la compresiune echivalente cu cele obținute pe cuburi de 150 mm.

În cazul în care numărul de rezultate este mai mic de 15, metoda servește numai la estimarea rezistenței la compresiune a betonului din lucrare.

În acest caz rezistența betonului din element se consideră acceptabilă dacă sunt îndeplinite relațiile:

$$f_{m(n),is} \geq f_{ck,is} + k_1 \times s \quad (8.20)$$

$$f_{is,min} \geq f_{ck,is} - 4 \quad (8.21)$$

unde:

s este abaterea standard trebuie să fie valoarea calculată plecând de la rezultatele încercării sau să fie egală cu $3,0 \text{ N/mm}^2$, indiferent care din acestea are valoarea mai mare.

k_1 coeficient ce ține seama de numărul de rezultate în conformitate cu tabelul 8.2.

$f_{m(n),is}$ și $f_{is,min}$ reprezintă valorile medii $f_{c,ef,med}$ respectiv minime $f_{c,ef,min}$ ale rezistenței efective $f_{c,ef}$.

Pentru determinarea rezistenței caracteristice a betonului din lucrare este necesară obținerea a minimum 15 rezultate.

Pentru evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune in-situ a betonului, indiferent de tipul de element, se aplică următoarele condiții:

- evaluarea pentru fiecare zonă de încercare trebuie să se bazeze pe cel puțin 15 poziții de încercare;

- abaterea standard trebuie să fie valoarea calculată plecând de la rezultatele încercării sau să fie egală cu $3,0 \text{ N/mm}^2$, indiferent care din acestea are valoarea mai mare.

Rezistența caracteristică la compresiune in-situ a zonei de încercare este cea mai mică dintre valorile:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s \quad (8.22)$$

sau

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 \quad (8.23)$$

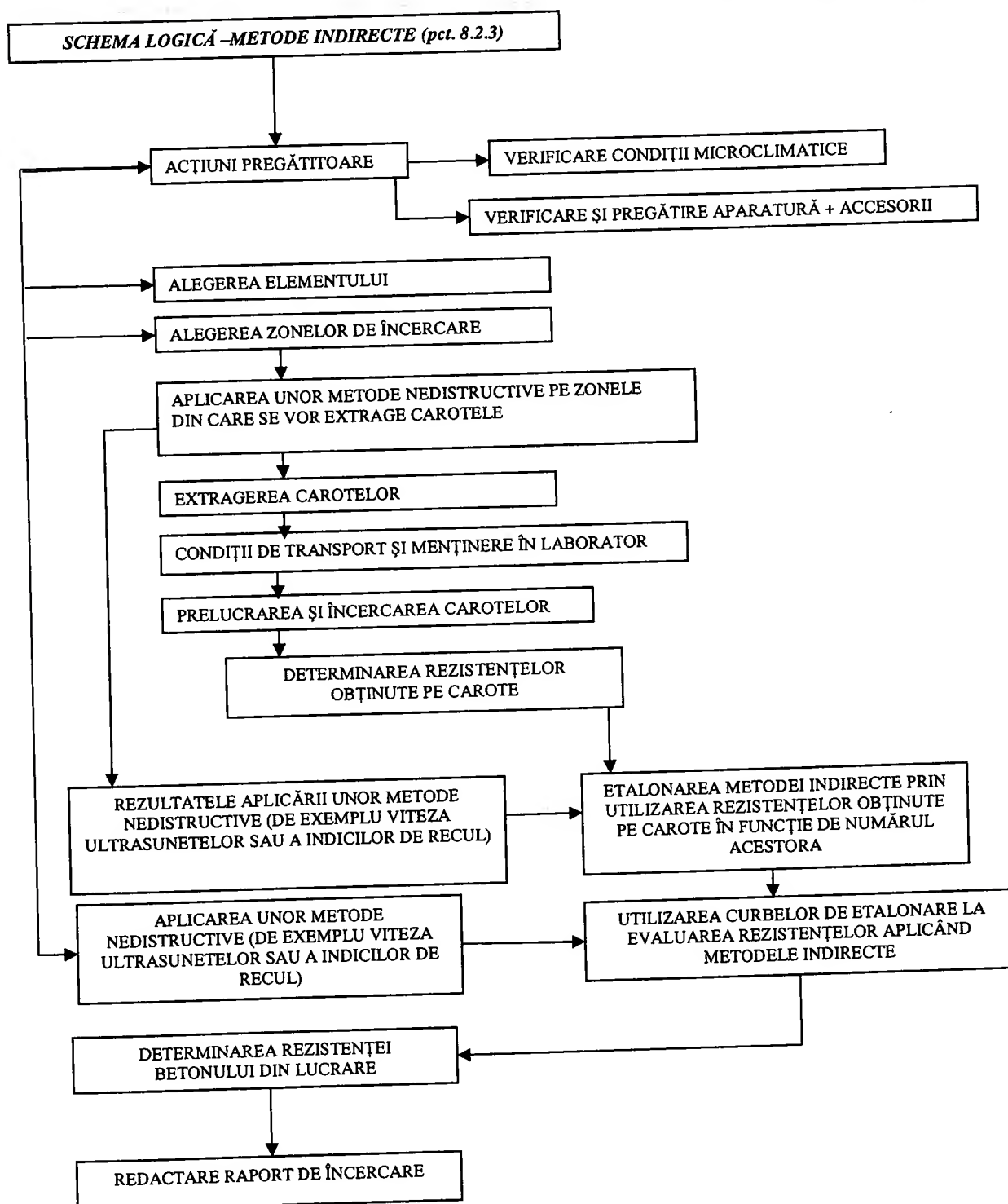
unde:

s este abaterea standard a rezultatelor încercării.

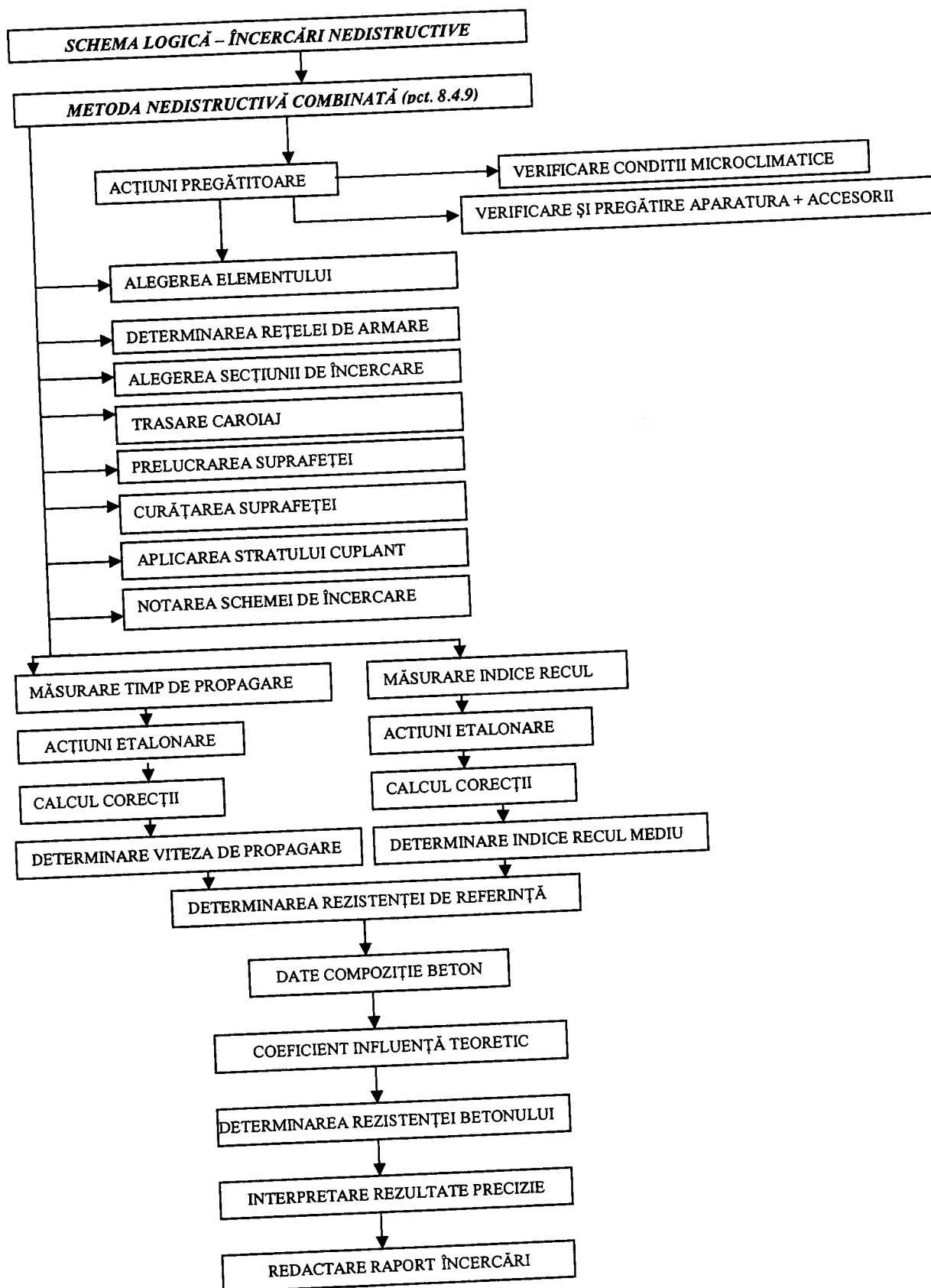
Valorile obținute se rotunjesc la cea mai apropiată valoare de $0,5 \text{ N/mm}^2$.

O serie de scheme logice de aplicare a diferitelor metode pentru evaluarea rezistenței betonului, exemple de prelucrare a rezultatelor obținute și comentarii la unele prevederi din normativ sunt prezentate în continuare la Anexa A, Anexa B și, respectiv, Anexa C.

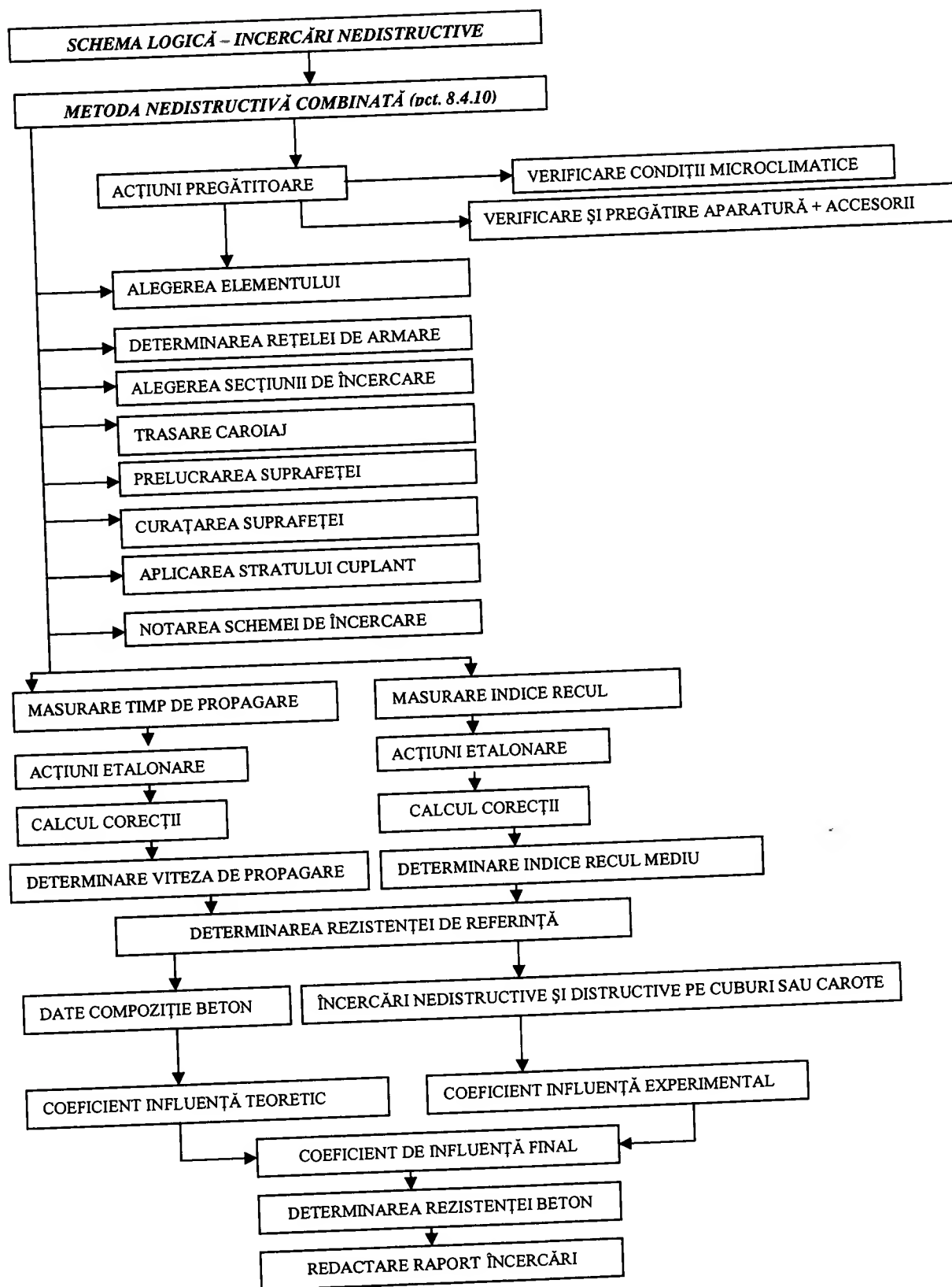
Anexa A: SCHEME LOGICE DE APLICARE A METODELOR DE EVALUARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI



Schema 1- Metode indirecte, utilizarea unei curbe de etalonare plecând de la un număr limitat de carote și o curbă de bază



Schema 2 – Metoda combinată, utilizarea coeficientului de influență teoretic



Schema 3- Metoda combinată, utilizarea coeficienților de influență teoretic și experimental

Anexa B: EXEMPLE DE PRELUCRARE A REZULTATELOR OBTINUTE PRIN APLICAREA METODELOR DE EVALUARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI

B.1. Aplicarea metodelor pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului prin încercări pe carote de beton (8.1.3.3)

Obiectivul încercării:

Determinarea rezistenței betonului, dintr-o pardoseală existentă care urmează să sufere modificări, având clasa de beton C20/25 conform proiect, cu o suprafață de 600 m² și o grosime de 25 cm, beton realizat cu agregat $\varnothing_{\max} = 32\text{mm}$, prin metoda carotelor.

S-au extras 12 carote cu un diametru de 94 mm cu lungimi cuprinse între 150 - 180 mm care ulterior au fost prelucrate la dimensiunile prezentate în tabelul B.1.1.

Pregătirea și încercarea carotelor s-au făcut în conformitate cu prevederile pct.7.1.

În urma acestor încercări au rezultat datele din tabelul B.1.1.

Tabelul B.1.1 Rezultatele încercărilor la compresiune a carotelor

Număr carotă	<i>d</i> carotă (mm)	<i>h</i> carotă (mm)	Forța de rupere (kN)	Aria (mm²)	<i>f</i>_{car.} (N/mm²)
1	94	104,6	121,796	6940	17,5
2	94	106,5	127,128	6940	18,5
3	94	112,5	130,496	6940	19,0
4	94	111,6	129,373	6940	18,5
5	94	107,7	132,601	6940	19,0
6	94	109,2	159,121	6940	23,0
7	94	104,4	146,211	6940	21,0
8	94	114,2	162,148	6940	23,5
9	94	111,4	147,755	6940	21,5
10	94	101,5	166,137	6940	24,0
11	94	106,6	145,931	6940	21,0
12	94	108,0	157,988	6940	23,0

Determinarea rezistenței betonului la compresiune, echivalentă pe cuburi de 150 mm, se face conform pct. 7.1.6, cu ajutorul relației:

$$f_{is} = a \times b \times c \times e \times g \times f_{car}$$

unde:

$f_{car.} = F/A_{car}$, reprezintă rezistența carotei obținută prin încercarea direct la presă.

Rezultate obținute sunt prezentate în tabelul B.1.2:

Tabelul B.1.2 Determinarea rezistenței medii la compresiune a betonului, echivalentă pe cuburi de 150 mm

Număr carotă	$f_{car.}$ (N/mm ²)	raport h/d	coef “b”	coef “a”	coef “c”	coef “e”	coef “g”	f_{is} (N/mm ²)	$f_{m(12),is}$ (N/mm ²)
1	17,5	1,11	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	18,5	22,5
2	18,5	1,13	1,05	1,00	1,06	1,00	0,96	20,0	
3	19,0	1,20	1,07	1,00	1,06	1,00	0,96	21,0	
4	18,5	1,19	1,07	1,00	1,06	1,00	0,96	20,0	
5	19,0	1,14	1,05	1,00	1,06	1,00	0,96	20,5	
6	23,0	1,16	1,05	1,00	1,06	1,00	0,96	24,5	
7	21,0	1,11	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	22,0	
8	23,5	1,20	1,07	1,00	1,06	1,00	0,96	25,5	
9	21,5	1,18	1,06	1,00	1,06	1,00	0,96	23,0	
10	24,0	1,08	1,03	1,00	1,06	1,00	0,96	25,0	
11	21,0	1,13	1,05	1,00	1,06	1,00	0,96	22,5	
12	23,0	1,15	1,05	1,00	1,06	1,00	0,96	24,5	

Prelucrarea rezultatelor se efectuează conform pct.8.1.3.3:

$f_{is,min} = 18,5 \text{ N/mm}^2$, rezistența minimă (Tabelul B.1.2)

$f_{m(12)is} = 22,5 \text{ N/mm}^2$, rezistența medie (Tabelul B.1.2)

$f_{ck,is,cub} = 21 \text{ N/mm}^2$ rezistența caracteristică in-situ minimă pentru clasa C 20/25 (Tabelul 6.1)

$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 = 18,5 + 4 = 22,5 \text{ N/mm}^2$

$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k = 22,5 - 5 = 17,5 \text{ N/mm}^2$

CONCLUZIE: Valoarea minimă a lui $f_{ck,is}$ este $17,5 \text{ N/mm}^2$, inferioară valorii $f_{ck,is,cub} = 21 \text{ N/mm}^2$ (rezistența caracteristică in-situ minimă pentru clasa C 20/25), deci betonul nu a realizat clasa de beton prescrisă.

B.2 Aplicarea metodelor pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului prin încercări pe carote (8.1.3.3) și/sau prin utilizarea unei relații determinate plecând de la un număr limitat de carote și o curbă de bază (8.2.3)

Evaluarea rezistenței betonului este efectuată pe baza rezultatelor obținute prin încercarea la compresiune a carotelor și a măsurărilor nedistructive indirecte prin metoda ultrasonică, având la dispoziție 10 perechi de rezultate, prezentate în tabelul B.2.1:

Tabelul B.2.1. Rezultate individuale obținute prin aplicarea metodelor nedistructive și distructive

Punctul de măsurare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{is}^{*)}$ (N/mm ²)	21,4	19,0	17,8	19,5	18,4	19,0	26,0	18,6	19,6	18,0
v_i (km/s)	4,099	4,076	4,002	4,120	4,087	4,149	4,423	4,051	4,117	4,012

*¹) NOTĂ - În acest caz valorile rezistențelor nu s-au rotunjit la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa deoarece aceste rezultate s-au utilizat și pentru aplicarea metodei indirecte.

Evaluarea rezistenței caracteristice a betonului pe baza rezultatelor obținute la încercarea la compresiune a carotelor se face conform abordării B (pct. 8.1.3.3), deoarece numărul de carote este cuprins între 3 și 14.

- Valoarea medie a rezultatelor, $f_{m(10),is} = 19,7 \text{ N/mm}^2$
- Valoarea cea mai mică, $f_{is\ min} = 17,8 \text{ N/mm}^2$
- Valoarea coeficientului k , pentru 10 încercări, $k = 5$.

Se consideră cea mai mică valoare dintre:

$$\begin{aligned} f_{m(10),is} - k &= 19,7 - 5 = 14,7 \text{ N/mm}^2 \\ \text{și} \\ f_{is,min} + 4 &= 17,8 + 4 = 21,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Rezistența caracteristică a betonului din lucrare este $f_{ck,is} = 14,7 \text{ N/mm}^2$.

Deoarece carotele încercate se înscriu în condiția de echivalare a rezistenței cu cea obținută pe cuburi cu latura de 150 mm, rezultă că rezistența caracteristică a betonului din lucrare corespunde clasei de rezistență C12/15 pentru care $f_{ck,is,cub} = 13 \text{ N/mm}^2$, conform tabelului 6.1.

Trasarea curbei care exprimă relația între datele măsurate prin metodă ultrasonică, indirectă, și rezistențe, se face conform cazului 2 (pct. 8.2.3), deoarece numărul de puncte în care s-au efectuat perechi de determinări este cuprinsă între 9 și 18, astfel:

- se calculează valorile f_v pentru curba de bază, pentru vitezele măsurate, cu relația:

$$f_v = 62,5 v^2 - 497,5 v + 990;$$

- se calculează diferențele $\delta f_v = f_{is} - f_v$ pentru fiecare punct de măsurare;
- se calculează abaterea medie pătratică, s_v , pentru vitezele măsurate;
- se calculează valoarea medie, δf_{vm} a diferențelor δf_v ;
- se calculează valoarea Δf_v , cu care se deplasează curba de bază, cu relația $\Delta f_v = \delta f_{vm} - k_I s$; în care coeficientul k_I este dependent de numărul de rezultate;
- se trasează curba care reprezintă relația între vitezele măsurate și rezistențele betonului, prin deplasarea curbei de bază cu Δf_v .

Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul B.2.2 și reprezentate grafic în figura B.2.1.

Cu ajutorul curbei care indică relația între vitezele măsurate și rezistențele betonului se poate evalua rezistența betonului din lucrare în funcție de valorile măsurate ale vitezelor ultrasunetelor. Condiția de aplicare este ca vitezele măsurate să nu se situeze în afara intervalului în care s-au încadrat valorile vitezelor utilizate pentru trasarea curbei ($\pm 0,05 \text{ km/s}$). Evaluarea rezistenței caracteristice nu se poate efectua decât dacă sunt disponibile mai mult de 15 rezultate.

Tabelul B.2.2 Determinarea valorii δf_v

Nr. punct	v_i [km/s]	f_{is} [N/mm ²]	f_v [N/mm ²]	δf_v [N/mm ²]
1	4,099	21,4	0,8	20,6
2	4,076	19,0	0,6	18,4
3	4,002	17,8	0,0	17,8
4	4,120	19,5	1,2	18,3
5	4,087	18,4	0,7	17,7
6	4,149	19,0	1,8	17,2
7	4,423	26,0	12,3	13,7
8	4,051	18,6	0,3	18,3
9	4,117	19,6	1,2	18,4
10	4,012	18,0	0,0	18,0

$k_l = 1,62$ (pentru 10 rezultate); $s_v = 0,118$; $\delta f_{vm} = 17,8 \text{ N/mm}^2$;
 $\Delta f_v = 17,8 - 1,62 \times 0,118 = 17,6 \text{ N/mm}^2$

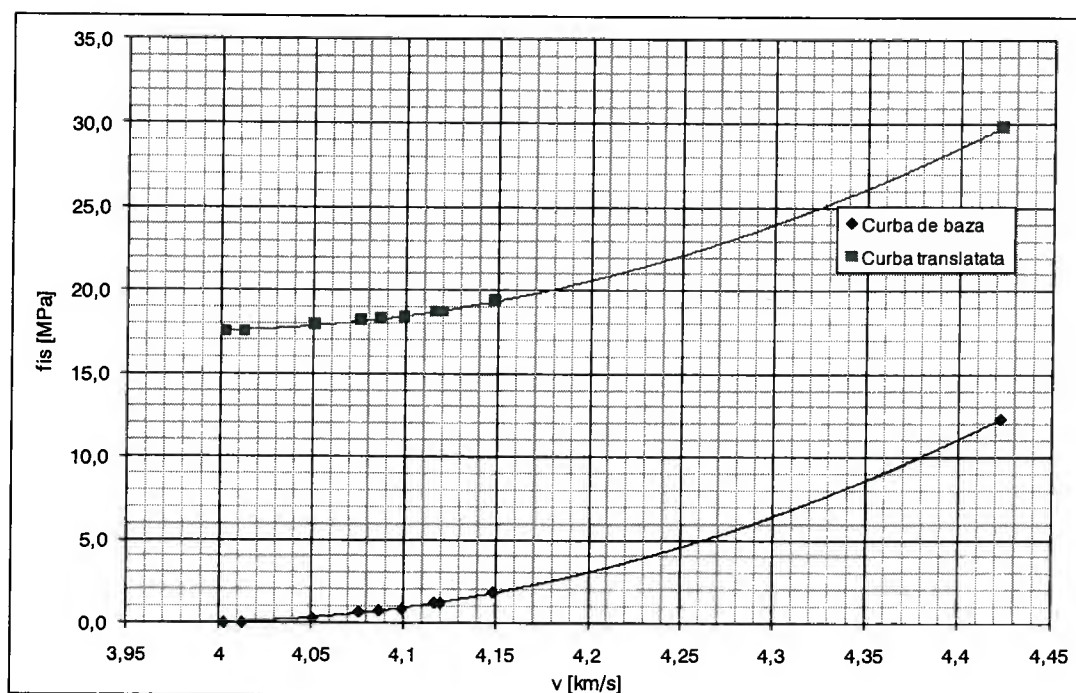


Figura B.2.1 - Curba care indică relația între vitezele măsurate și rezistențele betonului, obținută prin deplasarea curbei de bază cu Δf_v

CONCLUZIE: Metoda încercării carotelor oferă cele mai precise informații despre rezistența betonului din lucrare. Fiind o metodă distructivă și destul de laborioasă nu poate fi aplicată în toate cazurile.

Metoda poate fi utilizată ca metodă independentă sau în combinație cu metodele indirecte pentru evaluarea rezistenței betonului din construcții existente.

B.3. Metoda nedistructiv combinată

i. Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din elementele structurii de rezistență a unui imobil de locuințe, se dispune de cuburi prelevate la loc turnare (8.4.10)

Controlul calității betonului din 3 stâpi din beton, de la parterul unui imobil de locuințe situat într-un mediu neagresiv chimic, prin metoda nedistructivă combinată.

Date tehnice:

- Beton de clasă: C 16/20;
- Secțiune transversală stâlpi: 40 x 40 cm;
- Compoziția betonului:
 - Tip ciment: CEM/II-AS 32,5 R;
 - Dozaj ciment: 275 Kg/m³;
 - Agregat: cuarțos de râu;
 - Granulozitate: 0.....31,5 mm;
 - Frațiunea fină (0-1) mm: 23,9 %;
- Vârsta betonului: 90 de zile;
- Corpuri de probă: 3 cuburi cu latură de 150 mm, prelevate la loc turnare.

Descriere încercare

Stâlpii au fost încercați pe două direcții, în 3 secțiuni și în 4 puncte pe secțiune, câte 2 puncte pe fiecare direcție de încercare. Încercările pentru componenta ultrasonică a metodei combinate au fost executate prin tehnica transmisiei directe. Încercările pentru componenta de duritate superficială (sclerometrul) a metodei combinate au fost executate într-o singură secțiune a câte minimum 9 măsuratori.

Prelucrarea rezultatelor

Determinarea rezistenței betonului la compresiune se face cu ajutorul relației:

$$f_{c,ef} = f_{c,ref} \times C_t$$

Stabilirea valorii coeficientului C_t se face în funcție de valorile coeficienților $C_t^{calc.}$ și $C_t^{exp.}$

Coeficientul de influență teoretic de calcul $C_t^{calc.}$ se calculează cu relația:

$$C_t^{calc.} = C_c \times C_d \times C_a \times C_{\phi} \times C_g$$

Valorile coeficienților sunt prezentate în tabelul B.3.1, a se vedea tabelele (8.3...8.6).

Tabelul B.3.1 - Valorile coeficienților de influență

Nr. crt.	Caracteristica determinată	Simbol	Coeficient de influență						
			C_c	C_d	C_a	C_ϕ	C_g	C_v	C_t
1.	Tip ciment: II/A-S-32,5 R	C_c	1,00						
2.	Dozaj ciment: 275 Kg/m ³	C_d		0,97					
3.	Tip agregat: Cuarțos de râu	C_a			1,00				
4.	Dimensiune maximă agregat: 31,5mm.	C_ϕ				1,00			
5.	Fracțiune fină agregat: 23,9 %	C_g					1,06		
6.	Vârsta betonului: 90 zile	C_v						1,00	
7.	Coeficientul de influență teoretic de calcul	C_t							1,03

Coeficientul de influență experimental C_t^{exp} se determină pe baza încercărilor nedistructive și distructive, pe corpuri de probă, cu ajutorul relației:

$$C_t^{exp} = \frac{f_{c,exp.}}{f_{c,ref.}}$$

Rezultatele acestor încercări sunt prezentate în tabelul B.3.2.

Tabelul B.3.2 - Rezultatele încercărilor distructive și nedistructive pe corpuri de probă

Nr. crt.	Caracteristica determinată	Simbol	U.M.	Valori				C_t^{exp}
				Cub 1	Cub 2	Cub 3	Media	
1	Încercări nedistructive							
1.1	Viteza de propagare medie	V_L	Km/s	3,75	3,65	3,86	3,75	
1.2	Indice de recul	N	div.	30	23	26	28	
1.3	Rezistența la compresiune de referință	$f_{c.ref}$	N/mm ²	14,75	13,45	14,90	14,40	
2	Încercări distructive							
2.1	Rezistența la compresiune	$f_c^{exp.}$	N/mm ²	13.95	15,35	13,53	14,27	
2.2	Coeficient de influență experimental	C_t^{exp}		0,95	1,14	0,91	1,00	1,00

Cunoscând cele două componente ale coeficientului de influență final total C_t , valoarea acestuia rezultă:

$$C_t = \frac{C_t^{exp} + C_t^{calc}}{2} = (1 + 1.03) / 2 = 1.015$$

$$\text{Deoarece } \frac{|C_t^{exp} - C_t^{calc}|}{C_t^{exp}} \leq 0.1$$

caz în care se apreciază că datele experimentale verifică datele de calcul și nu sunt necesare corecții.

Prelucrarea rezultatelor obținute este prezentată în Tabelul B.3.3.

Tabelul B.3.3 - Determinarea valorii rezistenței efective

Nr. crt.	Element	Sect.	Punct	Viteza ultrasonică V_L (km/s)		Indice de reful N (div)		$f_{c,ref}$ $C_t=1$ (N/mm ²)	C_t med	Rezistența efectivă $f_{c,ef}$ (N/mm ²)	
				ind.	med.	ind.	med.	med. sect.		med. sect.	med. elem.
1	Stâlp S1	A	1	4,39							
			2	3,95	4,02			19,9		20,2	
			3	4,29							
			4	4,31							
		B	1	4,01		26 25					
			2	4,19	4,22	29 28		19,8	1,015	20,1	
			3	4,29		28 30	28				20,0
			4	4,51		30 29					
		C	1	4,14		28 29					
			2	4,07	4,21			19,6		19,9	
			3	4,26							
			4	4,36							
2	Stâlp S2	A	1	4,34							
			2	4,16							
			3	4,09	4,20			26,8		27,2	
			4	4,22							
		B	1	4,31		36 36			1,015		
			2	4,30		33 37					27,6
			3	4,30	4,26	35 36	35	28,0		28,4	
			4	4,12		34 35					
		C	1	4,14		32 34					
			2	4,24	4,20			26,8		27,2	
			3	4,24							
			4	4,18							
3	Stâlp S3	A	1	4,21							
			2	4,22							
			3	4,06	4,12			21,8		22,2	
			4	3,99							
		B	1	4,43		32 31					
			2	4,14		32 32					
			3	4,16	4,16	30 31	32	22,8	1,015	23,1	23,0
			4	3,99		34 32					
		C	1	4,37		33 34					
			2	4,20	4,21			23,3		23,6	
			3	4,20							
			4	4,10							

Interpretarea rezultatelor: conform pct. 8.4.14.

Rezistența betonului din lucrare este analizată în funcție de:

- Rezistența la compresiune minimă pe secțiune ($f_{c,ef,min.} = 19,9 \text{ N/mm}^2$)
- Rezistența la compresiune medie pe elemente ($f_{c,ef,med.} = 23,5 \text{ N/mm}^2$)
- Abaterea standard a rezultatelor, $s = 3.32$. În conformitate cu 8.4.14 se alege această abatere standard.

Determinarea rezistenței caracteristice (cea mai mică valoare dintre):

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \times s = 23,5 - 1,48 \times 3,32 = 18,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4 = 19,9 + 4 = 23,9 \text{ N/mm}^2$$

Conform tabelului 6.1, $f_{ck, is, cub}$ pentru clasa C16/20 este 17 N/mm^2 , deci betonul din stâlpi corespunde acestei clase de beton.

Observații:

- În cazul în care se cerea determinarea rezistenței caracteristice a fiecărui stâlp în parte, trebuiau încercate 15 poziții pe fiecare element;
- Rezultatele inferioare obținute pe corpurile de proba indică o prelevare și/sau menținere neadecvată a acestora, fapt care a determinat necesitatea încercării elementelor in-situ prin metode nedistructive.

NOTA - Rezultatele se rotunjesc la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa.

ii. Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din grinzile structurii de rezistență a unui imobil de locuințe, se dispune pe carotele prelevate din lucrare (8.4.10)

Controlul calității betonului din 3 grinzi din beton, a unui imobil de locuințe prin metoda nedistructiv combinată.

Date tehnice:

- Beton de clasă: C 16/20;
- Dimensiuni grindă: - lățime 25 cm;
 - înălțime 40 cm;
 - lungime 460 cm.
- Compoziția betonului:
 - Tip ciment: CEM/IIA-S 32,5 R;
 - Dozaj ciment: 275 Kg/m^3 ;
 - Agregat: cuarțos de râu;
 - Granulozitate: 0.....31,5 mm;
 - Frațiunea fină (0-1)mm: 23,9 %;
- Maturitatea betonului: aprox. 5 ani

Carote extrase din elemente ale structurii realizate cu aceeași clasă de beton: 3 bucăți cu $d = 100 \text{ mm}$, care după prelucrare au avut $h = 105 \text{ mm}$.

Descriere încercare:

Grinzile au fost încercate, în zona centrală în 5 secțiuni a câte 4 puncte pe fiecare secțiune.

Încercările prin metoda ultrasonică au fost efectuate prin tehnica transmisiei directe. Încercările prin metoda de duritate au fost executate într-o singură secțiune, a câte minimum 9 măsurători.

Prelucrarea rezultatelor

Determinarea rezistenței betonului la compresiune se face cu ajutorul relației:

$$f_{c,ef} = f_{c,ref} \times C_t$$

Stabilirea valorii coeficientului C_t se face în funcție de valorile coeficienților $C_t^{calc.}$ și $C_t^{exp.}$

Coeficientul de influență teoretic de calcul $C_t^{calc.}$ se calculează cu relația:

$$C_t^{calc.} = C_c \times C_d \times C_a \times C_\phi \times C_g$$

Valorile coeficienților sunt prezentate în tabelul B.3.4 a se vedea tabelele (8.3...8.6).

Tabelul B.3.4 - Valorile coeficienților de influență

Nr. crt.	Caracteristica determinată	Simbol	Coeficient de influență						
			C_c	C_d	C_a	C_ϕ	C_g	C_v	C_t
1.	Tip ciment: II A-S 32,5 R	C_c	1,00						
2.	Dozaj ciment: 275 Kg/m ³	C_d		0,97					
3.	Tip agregat: Cuarțos de râu	C_a			1,00				
4.	Dimensiune maximă agregat: 31,5mm.	C_ϕ				1,00			
5.	Fracțiune fină agregat: 23,9 %	C_g					1,06		
6.	Maturitatea betonului: 5 ani	C_v						0,90	
7	Coeficientul de influență teoretic	C_t							0,93

Coeficientul de influență experimental $C_t^{exp.}$ se determină pe baza încercărilor nedistructive și distructive, pe corpuri de probă, cu ajutorul relației:

$$C_t^{exp} = \frac{f_{c,exp.}}{f_{c,ref.}}$$

Rezultatele acestor încercări sunt prezentate în tabelul B.3.5.

Tabelul B.3.5 - Rezultatele încercărilor distructive și nedistructive pe corpuri de probă

Nr. crt.	Caracteristica determinată	Simbol	U.M.	Valori				C_t^{exp}
				Carota 1	Carota 2	Carota 3	Media	
1.	Încercări nedistructive							
1.1	Viteza de propagare medie	V_L	Km/s	3,81	3,75	3,75	3,77	
1.2	Indice de recul	N	div.	30	29	34	31	
1.3	Rezistența la compresiune de referință	$f_{c.ref}$	N/ mm ²	15,6	14,80	17,55	15,98	
2	Încercări distructive							
2.1	Rezistența la compresiune	$f_c^{exp.}$	N/ mm ²	17,14	18,22	14,75	16,70	
2.2	Coeficient de influență experimental	C_t^{exp}		1,10	1,23	0,84	1,06	1,06

Cunoscând cele două componente ale coeficientului de influență final total C_t , valoarea acestuia rezultă:

$$\text{Deoarece } \frac{|C_t^{\text{exp}} - C_t^{\text{calc}}|}{C_t^{\text{exp}}} = \frac{1,06 - 0,93}{1,06} = 0,122$$

$$10 \% \leq \frac{|C_t^{\text{exp}} - C_t^{\text{teor}}|}{C_t^{\text{exp}}} \leq 30 \%, \text{ se poate adopta coeficientul final de transformare cu valoarea:}$$

$$C_t = \frac{2C_t^{\text{exp}} + C_t^{\text{teor}}}{3} = (2 \times 1,06 + 0,93)/3 = 1,02$$

Prelucrarea rezultatelor obținute este prezentată în Tabelul B.3.6.

Tabelul B.3.6 - Determinarea valorii rezistenței efective

Nr. crt.	Element	Sect.	Punct	Viteza ultrasonică V_L (km/s)		Indice de recul N (div)		$f_{c,ref}$ $C_t=1$ (N/mm ²)	C_t med	$f_{c,ef}$ (N/mm ²)	
				ind.	med.	ind.	med.	med sect.		med. sect.	med. elem.
1	Grinda G1	A	1	3,95							
			2	4,15							
			3	3,90	3,94			17,3		17,6	
			4	3,77							
		B	1	3,78							
			2	4,09							
			3	4,14	4,03	29 30		18,6		19,0	
			4	4,11		29 28	30				
		C	1	4,17		30 32					
			2	4,19		34 33			1,02		
			3	4,11	4,04	30		18,8		19,2	18,9
			4	4,09							
		D	1	3,76							
			2	4,10	4,04			18,8		19,2	
			3	4,12							
			4	4,19							
2	Grinda G2	A	1	3,91							
			2	4,16							
			3	3,94	4,06			19,20		19,6	
			4	4,22							
		B	1	4,03							
			2	4,15							
			3	4,01	4,06	28 27		19,20		19,6	
			4	4,02		29 31	30				
		C	1	3,78		33 34			1,02		
			2	4,02		32 30					
			3	4,00	3,96	30		17,60		18,0	
			4	4,04							19,4
		D	1	3,91							
			2	4,16							
			3	3,94	4,10			19,50		19,9	
			4	4,20							
		E	1	4,15							
			2	3,98	4,13			19,8		20,2	
			3	4,29							
			4	4,10							

Nr. crt.	Element	Sect.	Punct	Viteza ultrasonică V_L (km/s)		Indice de recul N (div)		$f_{c,ref}$ $C_t=1$ (N/mm ²)	C_t med	$f_{c,ef}$ (N/mm ²)	
				ind.	med.	ind.	med.	med sect.		med. sect.	med. elem.
3	Grinda G3	A	1	3,76							
			2	4,10	4,04			20,3		20,7	
			3	4,12							
			4	4,19							
		B	1	3,72							
			2	4,06	4,00			19,5		19,9	
			3	4,02		32					
			4	4,22		32 31					
		C	1	3,56		33 34	32		1,02		
			2	4,30		30 31					
			3	3,98	4,03	33 34		20,1		20,5	21,3
			4	4,29							
		D	1	3,76							
			2	4,10							
			3	4,12	4,05			20,5		20,9	
			4	4,24							
		E	1	4,26							
			2	4,17	4,23			24,1		24,6	
			3	4,20							
			4	4,28							

Interpretarea rezultatelor

Interpretare în conformitate cu pct. 8.4.14.

Rezistența betonului din lucrare este analizată în funcție de:

- Rezistența la compresiune minimă pe secțiune ($f_{c,ef,min.}=17,6$ N/mm²)
- Rezistența la compresiune medie pe elemente ($f_{c,ef,med.}= 19,9$ N/mm²)
- Abaterea standard a rezultatelor, $s= 1,58$. în conformitate cu 8.4.14 se alege $s=3$.

Determinarea rezistenței caracteristice (cea mai mică valoare dintre):

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s = 19,9 - 1,48 \times 3 = 15,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 = 17,6 + 4 = 21,6 \text{ N/mm}^2$$

Conform tabelului 6.1, $f_{ck,is,cub}$ pentru clasa C12/15 este 13 N/mm², deci betonul din grinzi corespunde acestei clase de beton. Betonul din lucrare este sub clasa de rezistență prescrisă.

Conform tabelului 6.1, $f_{ck,is,cub}$ pentru clasa C16/20 este 17 N/mm², deci betonul din lucrare este sub clasa de rezistență prescrisă. Pentru clasa de beton C12/15, $f_{ck,is,cub} = 13$ N/mm², deci betonul din lucrare corespunde acestei clase de beton.

Observație: În cazul în care se cerea determinarea rezistenței caracteristice a fiecărei grinzi în parte, trebuiau luate în considerare rezistențele obținute pentru fiecare punct.

Rezistența betonului din grinda G3 analizată se determină în funcție de:

- Rezistența la compresiune minimă pentru fiecare punct ($f_{c,ef,min.}=14,3$ N/mm²)
- Rezistența la compresiune medie pe grindă ($f_{c,ef,med.}= 21,3$ N/mm²)

- Abaterea standard a rezultatelor, $s = 1,87$. În conformitate cu 8.4.14 se alege $s=3$.

Determinarea rezistenței caracteristice:

- cea mai mică valoare dintre:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \times s = 21,3 - 1,48 \times 3 = 16,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4 = 14,3 + 4 = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

Conform tabelului 6.1, $f_{ck, is, cub}$ pentru clasa C16/20 este 17 N/mm^2 , deci betonul din grinda G3 corespunde acestei clase de beton.

NOTĂ - Rezultatele se rotunjesc la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa.

iii. Evaluarea rezistenței la compresiune a betonului din unele elemente ale structurii de rezistență (pereți structurali) a unei construcții industriale în condiții de mediu agresiv chimic (se dispune de carote prelevate din lucrare) (8.4.10)

Date tehnice:

- Beton de clasă: C 20/25;
- Dimensiuni perete: - grosime 25 cm;
- înălțime 360 cm;
- lungime 460 cm.
- Compoziția betonului:
 - Tip ciment: CEM/IIA-S 32,5 R;
 - Dozaj ciment: 320 Kg/m^3 ;
 - Agregat: Cuarțos de râu;
 - Granulozitate: 0.....31,5 mm;
 - Frațiunea fină (0-1) mm: 18 %;
- Maturitatea betonului: aprox. 10 ani

Carote extrase din unele elemente a structurii realizate cu aceeași clasă de beton: 3 bucăți cu $d = 100 \text{ mm}$ care, după prelucrare, au avut $h = 105 \text{ mm}$.

Descriere încercare:

Pereții au fost încercați, în 5 secțiuni a câte 4 puncte pe fiecare secțiune.

Încercările prin metoda ultrasonică au fost efectuate prin tehnica transmisiei directe. Încercările prin metoda de duritate au fost executate într-o singură secțiune a câte minimum 9 măsurători.

Prelucrarea rezultatelor

Determinarea rezistenței betonului la compresiune se face cu ajutorul relației:

$$f_{c, ef} = f_{c, ref} \times C_t$$

Stabilirea valorii coeficientului C_t se face în funcție de valorile coeficienților $C_t^{calc.}$ și $C_t^{exp.}$

Coeficientul de influență teoretic de calcul $C_t^{calc.}$ se calculează cu relația:

$$C_t^{calc.} = C_c \times C_d \times C_a \times C_\phi \times C_g$$

Valorile coeficienților sunt prezentate în tabelul B.3.7, a se vedea, de asemenea, tabelele 8.3...8.6.

Tabelul B.3.7 Valorile coeficienților de influență

Nr. crt.	Caracteristica determinată Compoziția betonului	Simbol	Coeficient de influență						
			C_c	C_d	C_a	C_ϕ	C_g	C_v	C_t
1.	Tip ciment: II/ A-S 42,5 R	C_c	1,04						
2.	Dozaj ciment: 320 Kg/m ³	C_d		1,02					
3.	Tip agregat: Cuarțos de râu	C_a			1,00				
4.	Dimensiune maximă agregat: 31,5mm	C_ϕ				1,00			
5.	Fracțiune fină agregat: 18,0 %	C_g					1,03		
6.	Maturitatea betonului: 10 ani	C_v						0,90	
7.	Coeficientul de influență teoretic	C_t							1,00

Coeficientul de influență experimental C_t^{exp} se determină pe baza încercărilor nedistructive și distructive, pe corpuri de probă, cu ajutorul relației:

$$C_t^{exp} = \frac{f_{c,exp.}}{f_{c,ref.}}$$

Rezultatele acestor încercări sunt prezentate în tabelul B.3.8.

Tabelul B.3.8 Rezultatele obținute experimental

Nr. crt.	Caracteristica determinată	Simbol	U.M	Valori				C_t^{exp}
				Carota 1	Carota 2	Carota 3	Media	
1.	Încercări nedistructive							
1.1	Viteza de propagare medie	V_L	Km/s	3,81	3,75	3,75	3,77	
1.2	Indice de recul	N	div	30	29	34	31	
1.3	Rezistența la compresiune de referință	$f_{c,ref}$	N/mm ²	15,6	14,80	17,55	15,98	
2	Încercări distructive							
2.1	Rezistența la compresiune	f_c^{exp}	N/mm ²	17,14	18,22	14,75	16,70	
2.2	Coeficientul de influență experimental	C_t^{exp}		1,10	1,23	0,84	1,06	1,06

Cunoscând cele două componente ale coeficientului de influență final total C_t , valoarea acestuia rezultă:

$$C_t = \frac{C_t^{exp} + C_t^{calc}}{2} = (1 + 1,06) / 2 = 1,03$$

$$\text{deoarece } \frac{|C_t^{exp} - C_t^{calc}|}{C_t^{exp}} \leq 0,1$$

caz în care se apreciază că datele experimentale verifică datele de calcul și nu sunt necesare corecții.

Prelucrarea rezultatelor obținute este prezentată în Tabelul B.3.9.

Tabelul B.3.9 Determinarea valorii rezistenței efective

Nr. crt.	Element	Sect.	Punct	Viteza ultrasonică V_L (km/s)		Indice de recul N (div)		$f_{c,ref}$ $C_i=1$ (N/mm ²)	C_i <i>med</i>	$f_{c,ef}$ (N/mm ²)	
				ind.	med.	ind.	med.	med. sect.		med. sect.	med. elem.
1	Perete D1	A	1	3,65							
			2	3,99	3,93			18,40		18,9	
			3	4,16							
			4	2,99*							
		B	1	3,81							
			2	4,20		30 32					
			3	3,73	3,91	31 33	32	18,20		18,5	
			4	2,81*		35 34					
		C	1	3,92		31 33					
			2	3,82	3,81	32		16,60	1,03	17,1	19,4
			3	3,69							
			4	2,95*							
		D	1	3,50							
			2	3,84	3,86			17,30		17,8	
			3	4,23							
			4	2,88*							
		E	1	4,17							
			2	4,20	4,22			23,90		24,6	
			3	4,28							
			4	4,24							
2	Perete D2	A	1	**							
			2	3,42							
			3	3,84	3,69			20,90		21,5	
			4	3,82							
		B	1	**							
			2	3,84							
			3	3,83	3,87			24,40		25,1	
			4	3,95		38 38					
		C	1	4,09		37 40			1,03		
			2	4,03	4,03	42 39	39	27,40		28,2	
			3	3,97		39 41					
			4	4,03		39					
		D	1	3,97							25,9
			2	3,94	3,94			25,80		26,6	
			3	3,86							
			4	4,00							
		E	1	4,03							
			2	4,09	4,02			27,10		27,9	
			3	4,00							
			4	3,97							
3	Perete D3	A	1	4,03							
			2	3,98							
			3	3,95	3,97			21,90		22,6	
			4	3,92							
		B	1	3,75		35 36					
			2	3,54		37 32	35				
			3	3,77	3,71	34 33		17,30		17,8	

Nr. crt.	Element	Sect.	Punct	Viteza ultrasonica V_L (km/s)		Indice de recul N (div)		$f_{c,ref}$ $C_t=1$ (N/mm ²)	C_t med	$f_{c,ef}$ (N/mm ²)	
				ind.	med.	ind.	med.	med. sect.		med. sect.	med. elem.
			4	3,80		36 37					
		C	1	3,54		35					
			2	3,68					1,03		
			3	3,73	3,59			15,90		16,4	19,1
			4	3,42							
		D	1	3,86							
			2	3,82							
			3	3,77	3,81			19,10		19,7	
			4	3,79							
		E	1	3,78							
			2	3,84	3,74			18,20		18,8	
			3	3,70							
			4	3,66							

NOTĂ - Zone cu degradări rezultate din măsurători, cu valori ale vitezelor sub 3 km/s (*) sau vizibile (**) ce nu se iau în considerare în calcul

Interpretarea rezultatelor

Interpretare în conformitate cu pct. 8.4.14.

Rezistența betonului din lucrare este analizată în funcție de:

- Rezistența la compresiune minimă pe secțiune ($f_{c,ef,min.}=16,4$ N/mm²)
- Rezistența la compresiune medie pe elemente ($f_{c,ef,med.}= 21,5$ N/mm²)
- Abaterea standard a rezultatelor, $s= 4,09$. în conformitate cu 8.4.14 se alege $s=4,09$

Determinarea rezistenței caracteristice:

(cea mai mică valoare dintre):

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s = 21,5 - 1,48 \times 4,09 = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck,is} = f_{is,min} + 4 = 16,4 + 4 = 20,4 \text{ N/mm}^2$$

Conform tabelului 6.1, $f_{ck,is,cub} = 21$ N/mm² pentru clasa C20/25, deci betonul din lucrare nu corespunde clasei de beton prescrise, betonul are clasa de rezistență C12/15 ($f_{ck,is,cub} = 13$ N/mm²).

NOTĂ - Rezultatele se rotunjesc la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa.

Observație: În cazul în care se cerea determinarea rezistenței caracteristice a fiecărui perete în parte, trebuiau luate în considerare rezistențele obținute pentru fiecare punct.

Rezistența betonului din peretele D2 se determină în funcție de:

- Rezistența la compresiune minimă pentru fiecare punct ($f_{c,ef,min.}=16,5$ N/mm²)
- Rezistența la compresiune medie pe perete ($f_{c,ef,med.}= 25,9$ N/mm²)
- Abaterea standard a rezultatelor, $s= 2,72$. În conformitate cu 8.4.14 se alege $s=3$.

Determinarea rezistenței caracteristice (cea mai mică valoare dintre):

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \times s = 25,9 - 1,48 \times 3 = 21,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4 = 16,5 + 4 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

Conform tabelului 6.1, $f_{ck, is, cub} = 21 \text{ N/mm}^2$ pentru clasa C20/25, deci betonul din peretele D2 nu corespunde clasei de beton prescrise, betonul are clasa de rezistență C16/20 ($f_{ck, is, cub} = 17 \text{ N/mm}^2$).

NOTĂ - Rezultatele se rotunjesc la cea mai apropiată valoare de 0,5 MPa.

Anexa C: COMENTARII ȘI RECOMANDĂRI

C1. Obiect și domeniu de aplicare

C1.1. Metodele prezentate în acest normativ pot fi aplicate indiferent de tipul și destinația construcției având structura din beton armat monolit/prefabricat sau de etapele de realizare/fazele de intervenție în care se află aceasta, în cazul în care nu există dispoziții contrare specificate de proiectant și/sau expert.

C1.4. În prezentul normativ sunt prezentate principiile pentru stabilirea unor relații între:

- rezultatele testelor pe carote și rezistența betonului;
- rezultatele testelor indirecte și rezistența obținută pe carote;
- rezultatele testelor indirecte combinate (inclusiv în condițiile în care se dispune de carote sau pe corpuri de probă) și rezistența betonului.

C5. Planificarea investigațiilor privind evaluarea rezistenței la compresiune a betonului

C5.3. Selectarea programelor de încercare

C5.3.2. Precizia evaluării rezistenței in-situ

În cazul unor anumite metode de încercare, de exemplu, viteza ultrasunetelor sau durtății superficiale, extinderea încercărilor conduce la creșteri relativ reduse ale costurilor, dar în alte cazuri cum ar fi metoda extragerii și încercării carotelor, costurile se pot majora substanțial. Decizia privind numărul și tipurile de încercări trebuie să se ia având în vedere o evaluare a costurilor necesare obținerii unui grad de încredere adecvat al rezultatelor încercărilor.

C7. Metode de încercare pentru evaluarea rezistenței la compresiune a betonului

C7.1. Metoda carotelor

C7.1.1. Considerații generale

Carotele pot fi utilizate și la determinarea următoarelor caracteristici ale betonului:

- rezistența la întindere prin despicare;
- rezistența la îngheț-dezgheț;
- gradul de permeabilitate;
- densitatea aparentă;
- porozitatea.

C7.1.2. Selectarea zonelor de extragere a carotelor

Rezistența betonului într-un element descrește către partea superioară chiar și pentru plăci, și poate fi cu până la 25 % mai mică în extremitatea superioară decât în miezul betonului. Betonul de rezistență scăzută este adesea concentrat la o distanță de 300 mm sau de 20% de partea superioară a înălțimii elementului (se alege valoarea mai mică).

C7.1.4. Mărimea carotelor

Coeficientul de variație a rezistenței obținute pe carote în cazul încercării într-un singur laborator este de 3,2%, respectiv de 4,7%, pentru încercări inter-laboratoare pentru betoane având rezistențe între 32 MPa și 48 MPa. În cazul în care se încearcă două probe extrase din

același beton, valorile rezistențelor individuale obținute nu diferă cu mai mult 9% față de rezistența medie în cazul încercărilor efectuate într-un singur laborator, respectiv cu 13% în cazul în care rezultatele individuale s-au obținut în cadrul unor încercări interlaboratoare.

C7.1.6. Aparatura și tehnica de încercare. Determinarea rezistenței la compresiune

Factorii principali care determină diferențele sunt:

- degradarea unui strat de beton adiacent suprafeței laterale a carotei datorită operației de carotare;
- degradarea unui strat de beton adiacent suprafețelor de capăt a carotei, prin operația de tăiere transversală, sau neuniformitatea de transmitere a sarcinii la capetele rupte de pe fund cu pene sau leviere;
- existența unui strat intermediar între platanele preseii și carotă cu proprietăți diferite de cele ale betonului;
- existența unei zvelteți definite ca raport între înălțimea carotei și diametrul, variabile și diferite de valoarea caracteristică a rezistenței cubului.

C7.2. Metoda ultrasunetelor

C7.2.1. Considerații generale

Cele mai importante proprietăți ale betonului care influențează viteza ultrasunetelor sunt modulul de elasticitate și densitatea. Pentru beton aceste proprietăți sunt influențate de tipul de agregate, de proporția și de proprietățile fizice ale acestora precum și de proprietățile fizice ale pasteii de ciment care este influențată de raportul inițial apă ciment și de maturitate betonului. Rezistența betonului este influențată mai mult de raportul apă/ ciment decât de tipul de agregate și de proprietățile pasteii și ale agregatelor.

C7.2.2. Domeniu de aplicare

Metoda ultrasunetelor mai poate fi utilizată pentru determinarea:

- a) proprietăților elasto-dinamice ale betonului;
- b) defectelor din elemente sau structuri;
- c) modificărilor structurii betonului în timpul întăririi sub acțiunea agenților chimici sau fizici agresivi, sau sub acțiunea solicitărilor mecanice;
- d) omogenității betonului în lucrare.

C7.2.3. Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări

La selectarea zonelor de încercare se apreciază că:

- pentru controlul omogenității este suficientă o rețea de puncte cu distanța între secțiuni de 50 cm.
- pentru examenul defectoscopic este necesară o rețea principală, cu distanța între secțiuni de 30 cm, posibilități de îndesire suplimentară, prin rețele secundare.

C7.4. Încercarea betonului prin metoda nedistructivă combinată

C7.4.1 Considerații generale

Utilizarea metodei nedistructive combinate prezintă următoarele avantaje în raport cu alte metode nedistructive:

- precizia determinării rezistenței este de regulă superioară metodelor nedistructive simple;

- nu obligă la cunoașterea maturității betonului;
- este mai puțin influențată de variațiile necontrolate ale dozajului și tipului de ciment sau ale granulozității agregatului decât metoda ultrasonică.

C7.4.3 Selectarea zonelor de încercare și numărul de încercări

Dacă încercările se efectuează pe fața turnată a elementelor, valorile rezistențelor la compresiune, determinate pe baza încercărilor nedistructive combinate, vor fi cu cca. 20% mai mici decât cele reale.